

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ROSILANI TRIANOSKI

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA MADEIRA DE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS
POR MEIO DE MÉTODOS CONVENCIONAIS E NÃO DESTRUTIVOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Engenharia Florestal, Área de Concentração de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos

Co-orientadores: Prof. Dr. Setsuo Iwakiri

Prof. Dr. José Guilherme Prata

CURITIBA

2012

Ficha catalográfica elaborada por Denis Uezu – CRB 1720/PR

Trianoski, Rosilani

Avaliação da qualidade da madeira de espécies de Pinus tropicais por meio de métodos convencionais e não destrutivos / Rosilani Trianoski. – 2012.

553 fls.: il.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos

Co-orientadores: Prof. Dr. Setsuo Iwakiri
Prof. Dr. José Guilherme Prata

Tese (doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 15/06/2012.

Área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais

1. Pinus. 2. Madeira - Qualidade. 3. Madeira – Propriedades. 4. Teses. I. Matos, Jorge Luis Monteiro. II. Iwakiri, Setsuo. III. Prata, José Guilherme. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. V. Título.

CDD – 674.8

CDU – 634.0.810




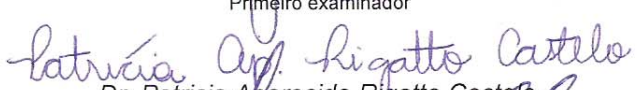
Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

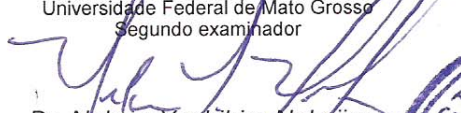
PARECER


Defesa nº. 927

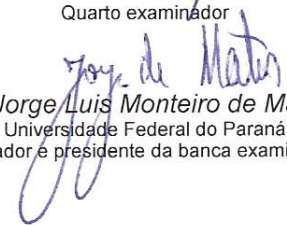
A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após argüir o(a) doutorando(a) *Rosilani Trianoski* em relação ao seu trabalho de tese intitulado "**AValiação DA QUALIDADE DA MADEIRA DE PINUS TROPICAIS POR MEIO DE MÉTODOS CONVENCIONAIS E NÃO DESTRUTIVOS**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Doutor* em Engenharia Florestal, área de concentração em **TECNOLOGIA E UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS**.


Dr. Alexandre Bayestorff da Cunha
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC
Primeiro examinador


Dr. Patricia Aparecida Rigatto Castelo
Universidade Federal de Mato Grosso
Segundo examinador

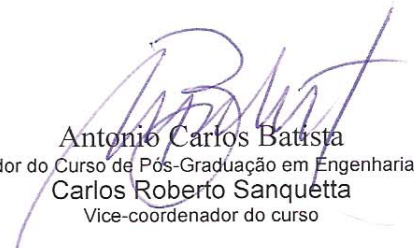

Dr. Nelson Yoshihiro Nakajima
Universidade Federal do Paraná
Terceiro examinador


Dr. Setsuo Iwakiri
Universidade Federal do Paraná
Quarto examinador


Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos
Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora



Curitiba, 15 de junho de 2012.


Antonio Carlos Batista
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Carlos Roberto Sanquetta
Vice-coordenador do curso

À Deus,
À minha família.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná pela possibilidade de ampliar meus estudos e conhecimentos em um dos centros mais avançados em Ciência e Tecnologia Florestal.

Ao Prof. Dr. Prof. Jorge Luis Monteiro de Matos, Prof. Dr. Setsuo Iwakiri e Prof. Dr. José Guilherme Prata pela orientação deste trabalho e por todo apoio.

A Valor Florestal, pela concessão de uso dos plantios experimentais e por todo apoio ao longo do projeto.

Ao Prof. Dr. Márcio Pereira da Rocha, pelo grande incentivo aos objetivos de longo prazo, e pelo apoio quase que diário nos últimos meses.

Ao Prof. Dr. Ricardo Jorge Klitzke, pela pronta disponibilidade de uso do Laboratório de Usinagem da Madeira, Prof^a. Dr^a Silvana Nisgoski pelo uso do Laboratório de Anatomia da Madeira.

Ao Laboratório de Tecnologia da Madeira da EMBRAPA, pelo apoio durante a realização de algumas análises.

Ao Centro de Microscopia Eletrônica da UFPR pelo uso dos equipamentos e coleta de imagens e análises.

Aos professores do Manejo Florestal, Dr. Nelson Nakajima, Dr. Julio Arce e Dr. Sebastião do Amaral Machado pelo auxílio no processamento dos dados relativos ao crescimento e produção volumétrica.

À Prof^a. Marina Nishidate Kumode por todo apoio durante o desenvolvimento desta tese.

Aos funcionários Sr. Ademir José Cavali e Sr. Vitor Herrera, por todo auxílio durante o desenvolvimento deste trabalho, o qual foi de fundamental importância para sua concretização.

À técnica de laboratório Mariuci Torres dos Santos por todo auxílio durante a coleta de dados.

À Rosangelis Visoni Azanha de Ornelas e Denis Uezu pelo auxílio prestado nas mais diversas ocasiões.

Ao CNPq pela concessão de bolsa durante os primeiros meses de realização do doutorado.

BIOGRAFIA

Engenheira Industrial Madeireira pela Universidade Federal do Paraná (2004-2008). Em março de 2009 ingressou no Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, onde desenvolveu projeto de pesquisa na área de Painéis de Madeira, sob o título “Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas de rápido crescimento, para a produção de painéis de madeira aglomerada”. Em Abril de 2010 defendeu a dissertação, obtendo passagem direta para o doutorado em Junho de 2010. Nesta data iniciou o doutorado na linha de pesquisa de Propriedades da Madeira, com projeto “Avaliação da qualidade da madeira de espécies de Pinus tropicais por meio de métodos convencionais e não destrutivos. Em Agosto de 2011 passou a integrar o quadro de docentes efetivos do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da Universidade Federal do Paraná, concluindo o doutorado em Junho de 2012.

RESUMO

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA MADEIRA DE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS POR MEIO DE MÉTODOS CONVENCIONAIS E NÃO DESTRUTIVOS

As florestas plantadas de rápido crescimento constituem uma importante fonte de matéria prima para as indústrias de base florestal, onde o gênero *Pinus* é amplamente empregado nos mais diversos processos industriais. O *Pinus taeda* é a espécie mais utilizada industrialmente, no entanto, torna-se necessário a introdução de outras espécies deste gênero, entre elas os *Pinus* tropicais, a fim de ampliar a disponibilidade de matéria prima, bem como aumentar a diversidade, contribuindo assim para o desenvolvimento de novos produtos e para a melhoria da qualidade dos produtos já existentes. A introdução de novas espécies traz consigo a necessidade de estudos relativos a sua adaptação, crescimento e principalmente sobre a qualidade tecnológica de sua madeira. O conhecimento das propriedades da madeira é uma importante ferramenta para indicação de usos finais adequados, maior sustentabilidade e eliminação dos conceitos negativos a respeito deste gênero. Além disso, torna-se necessário o desenvolvimento e a utilização de tecnologias não destrutivas, gerando informações rápidas e precisas e agregando ainda mais valor à matéria prima e ao produto final. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é avaliar a qualidade da madeira de espécies de *Pinus* tropicais por meio de métodos convencionais e não destrutivos. Para o desenvolvimento deste estudo foram utilizadas 7 espécies de *Pinus* tropicais (*Pinus caribaea* var. *bahamensis*; *Pinus caribaea* var. *caribaea*; *Pinus caribaea* var. *hondurensis*; *Pinus chiapensis*; *Pinus maximinoi*; *Pinus oocarpa* e *Pinus tecunumanii*) e o *Pinus taeda* (testemunha), provenientes de plantios florestais experimentais localizados em Ventania – PR e Itararé – SP, com 17 e 18 anos de idade, instalados através de uma parceria entre a CAMCORE, CCGMPT e Valor Florestal. A avaliação da qualidade da madeira destas espécies foi efetuada em várias etapas, originando a presente tese, a qual é constituída de 10 capítulos conforme segue: Capítulo 1: Motivação e estrutura do trabalho; Capítulo 2: Informações correlatas às espécies estudadas; Capítulo 3: Velocidade de propagação das ondas de tensão nas árvores e toras; Capítulo 4: Avaliação do crescimento e da produtividade volumétrica; Capítulo 5: Propriedades anatômicas; Capítulo 6: Propriedades químicas; Capítulo 7: Propriedades físicas; Capítulo 8: Propriedades mecânicas; Capítulo 9: Avaliação convencional e não destrutiva da madeira para uso estrutural; Capítulo 10: Conclusões gerais considerações finais. De maneira geral, os resultados das análises convencionais e não destrutivas indicaram que as espécies de *Pinus* tropicais possuem propriedades tecnológicas adequadas à diversas utilizações, sendo recursos florestais promissores e podendo ser empregadas como matéria prima complementar e substituta às espécies de *Pinus* tradicionalmente utilizadas pela indústria de base florestal. Além disso, o método não destrutivo de propagação das ondas de tensão demonstrou ser uma ferramenta eficiente para avaliação da qualidade da madeira a partir de toras, amostras de madeira isentas de defeitos e amostras estruturais com presença de nós.

Palavras chave: *Pinus* tropicais; qualidade da madeira; propriedades da madeira; métodos convencionais; métodos não destrutivos.

ABSTRACT

EVALUATION OF THE WOOD QUALITY OF TROPICAL PINES SPECIES THROUGH OF CONVENTIONAL METHODS AND NON-DESTRUCTIVE

The fast growing plantation forests are an important source of raw material for forest-based industry, where the genus *Pinus* is widely used in various industrial processes. *Pinus taeda* is the species most frequently used industrially, however, it's necessary to introduce other species, including the tropical pines, in order to increase the availability of raw materials and increase the range contributing to the development of new products and to improve the quality of existing products. The introduction of new species brings the need for studies on adaptation, growth and mainly on the technological quality of its wood. The knowledge of wood properties is an important tool to indicate appropriate end uses, greater sustainability and elimination of negative concepts about this genus. Moreover, it's necessary to the development and use of non-destructive technologies, generating quick and accurate information and adding even more value to raw materials and the final product. In this context, the objective of this study is to evaluate the wood quality of tropical pines species through conventional and non-destructive methods. To develop this study were used seven species of tropical pines (*Pinus caribaea* var. *bahamensis*; *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis*; *Pinus chiapensis*; *Pinus maximinoi*, *Pinus oocarpa* and *Pinus tecunumanii*) and *Pinus taeda* (control), from experimental plantations located in Ventania - PR and Itararé-SP, with 17 and 18 years old, installed through a partnership between CAMCORE, CCGMPT and Valor Florestal. The evaluation of quality wood of these species was carried out in several stages, resulting in this thesis, which consists of 10 chapters as follows: Chapter 1: Motivation and structure of the work; Chapter 2: Information related to the species studied; Chapter 3: Velocity of propagation of stress waves in trees and logs; Chapter 4: Evaluation of growth and volumetric productivity and its influence on the quality of the wood; Chapter 5: Anatomical properties; Chapter 6: Chemical properties, Chapter 7: Physical properties; Chapter 8: Mechanical properties; Chapter 9: Evaluation of conventional and non-destructive wood for structural use, Chapter 10: General conclusions and finals considerations. Overall, the results of conventional and non-destructive analysis indicated that the technological properties of tropical pines are suitable for various uses. These forest resources are promising and can be used as raw material to complement and substitute of pines species traditionally used by forest-based industry. In addition, non-destructive method of propagation of stress waves proved to be an effective tool for evaluating the quality of wood from logs, wood samples free of structural defects and samples with the presence of knots.

Keywords: Tropical pines; wood quality; wood properties; conventional methods; non-destructive methods.

RESUMEN

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA MADERA DE ESPECIES DE PINUS TROPICALES ATRAVÉS DE MÉTODOS CONVENCIONALES Y NO DESTRUCTIVOS

Las plantaciones forestales de rápido crecimiento son una fuente importante de materia prima para la industria de base forestal, donde el género *Pinus* es ampliamente utilizado en diversos procesos industriales. *Pinus taeda* es la especie más frecuentemente utilizado industrialmente, sin embargo, es necesario introducir otras especies, incluyendo *Pinus* tropicales, con el fin de aumentar la cantidad de materias primas y aumentar la gama contribuir al desarrollo de nuevos productos y para mejorar la calidad de los productos existentes. La introducción de nuevas especies lleva la necesidad de estudios sobre la adaptación, el crecimiento y sobre todo en la calidad de su madera. El conocimiento de las propiedades de la madera es una herramienta importante para indicar los usos apropiados finales, una mayor sostenibilidad y la eliminación de los conceptos negativos acerca de este género. Además, es necesario para el desarrollo y uso de tecnologías no destructivas, generando información rápida y precisa, y añadiendo aún más valor a las materias primas y el producto final. En este contexto, el objetivo de este estudio es evaluar la calidad de la madera de las especies del *Pinus* tropicales a través de métodos convencionales y no destructivos. Para desarrollar este estudio se utilizaron siete especies de *Pinus* tropicales (*Pinus caribaea* var. *bahamensis*; *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Pinus chiapensis*; *Pinus maximinoi*, *Pinus oocarpa* y *Pinus tecunumanii*) y *Pinus taeda* (control), a partir de plantaciones experimentales ubicadas en Ventania - PR y Itararé SP-con 17 y 18 años, instalado a través de una asociación entre CAMCORE, CCGMPT y Valor Florestal. La evaluación de la calidad de la madera de estas especies se llevó a cabo en varias etapas, dando lugar a esta tesis, que consta de 10 capítulos de la siguiente manera: Capítulo 1: La motivación y la estructura de la obra; Capítulo 2: La información relacionada con las especies estudiadas, Capítulo 3: La velocidad de propagación de las ondas de estrés en los árboles y troncos; Capítulo 4: Evaluación del crecimiento y la productividad volumétrica y su influencia en la calidad de la madera; Capítulo 5: Propiedades anatómica, Capítulo 6: Propiedades químicas, Capítulo 7: Las propiedades físicas; Capítulo 8: Propiedades mecánicas; Capítulo 9: Evaluación de la madera convencional y no destructivo para uso estructural; Capítulo 10: Conclusiones generales y consideraciones finales. En general, los resultados de los análisis convencionales y no destructivos indica que las especies de *Pinus* tropicales tienen propiedades tecnológicas adecuadas para diferentes usos, los recursos forestales son prometedores y pueden ser utilizados como materia prima para complementar y reemplazo de las especies de *Pinus* tradicionalmente utilizado por la industria de base forestal. Además, el método no destructivo de propagación de ondas de tensión tiene demostrado ser una herramienta eficaz para la evaluación de la calidad de la madera de los troncos, las muestras de madera libre de defectos y las muestras estructurales con la presencia de nudos.

Palabras clave: *Pinus* tropicales, calidad de la madera, propiedades de la madera, métodos convencionales, métodos no destructivos.

RÉSUMÉ

ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DU BOIS DE PINUS TROPICAUX PAR LES MÉTHODES CONVENTIONNELLES ET NON DESTRUCTIVES

Les forêts plantées de croissance rapide sont une importante source de matières premières pour l'industrie de sylviculture, où le genre *Pinus* est largement utilisé dans divers procédés industriels. L'espèce *Pinus taeda* est la plus fréquemment utilisée industriellement, cependant, il faut introduire d'autres essences du genre, tels que du Pins tropicaux, afin d'augmenter la quantité de matières premières et accroître la diversité en contribuant au développement de nouveaux produits et pour l'amélioration de la qualité des produits existants. L'introduction de nouvelles essences amène la nécessité d'études sur l'adaptation, croissance et principalement sur la qualité du bois. La connaissance des propriétés du bois est un important outil pour indiquer les utilisations finales appropriées, grande soutenabilité et l'élimination des concepts négatifs à propos sur ce genre. En outre, il est nécessaire le développement et l'utilisation de technologies non destructives, la production d'information rapide et précise et d'ajouter encore plus valeur aux matières premières et le produit final. Dans ce contexte, l'objectif de l'étude consiste à évaluer la qualité du bois d'essences de Pins tropicaux par les méthodes conventionnelles et non-destructive. L'étude a été développé à partir de l'utilisation de sept essences de Pins tropicaux (*Pinus caribaea* var. *bahamensis*; *Pinus caribaea* var. *caribaea*; *Pinus caribaea* var. *hondurensis*; *Pinus chiapensis*; *Pinus maximinoi*; *Pinus oocarpa* e *Pinus tecunumanii*) et *Pinus taeda* (contrôle), à partir de plantations expérimentales situées à Ventania - PR et à Itararé-SP avec 17 et 18 ans, installé à travers d'un partenariat entre CAMCORE, CCGMPT et Valor Florestal. L'évaluation de la qualité du bois de ces espèces a été réalisée en plusieurs étapes, qui entraîne cette thèse, qui consiste de 10 chapitres, comme suit: Chapitre 1: La motivation et la structure de l'étude; Chapitre 2: Informations relatives aux essences étudiées; Chapitre 3: Vitesse de propagation des ondes de tension dans les arbres et bois ronds; Chapitre 4: Évaluation de la croissance et la productivité volumétrique et son influence sur la qualité du bois; Chapitre 5: Propriétés anatomiques; Chapitre 6: Propriétés chimiques; Chapitre 7: Propriétés physiques; Chapitre 8: propriétés mécaniques; Chapitre 9: Evaluation conventionnelle et non-destructive du bois pour utilisation structurelle; Chapitre 10: Conclusions générales et remarques finales. Les résultats des analyses conventionnelles et non-destructive a indiqué que, en général, les essences de Pins tropicaux ont des propriétés technologiques adaptés à des diverses utilisations, les ressources forestières sont prometteurs et peuvent être utilisés comme matière première pour compléter et remplacer les essences de Pins traditionnellement utilisés par l'industrie forestier. En plus, la méthode non destructive de propagation des ondes de tension sont un outil efficace pour évaluer la qualité du bois rond, des échantillons de bois exempt de défauts et échantillons structurels avec la présence de noeud.

Mots clés: Pins tropicaux, qualité du bois, propriétés du bois, méthodes conventionnelle, méthodes non destructives.

ZUSAMMENFASSUNG

UNTERSUCHUNGEN ZUR HOLZQUALITÄT VON TROPISCHEN KIEFERNARTEN MIT HILFE VON KONVENTIONELLEN UND ZERSTÖRUNGSFREIEN PRÜFVERFAHREN

Raschwüchsige Forstplantagen sind eine wichtige Rohstoffquelle für die Holzindustrie Brasiliens. Den Baumarten der Gattung *Pinus* kann dabei aufgrund ihrer weiten Verbreitung und ihrer vielseitigen Verwendungsmöglichkeiten eine große Bedeutung beigemessen werden. Die Spezies *Pinus taeda* ist dabei die am meisten in der Industrie verwendete Baumart, aufgrund des hohen Bedarfs ist aber die Einführung weiterer Arten dieser Gattung, darunter auch tropische Kiefern, zur Deckung des Rohstoffbedarfs notwendig. Zur Erweiterung der Produktpalette, der qualitativen Verbesserung weiterer Produkte sowie für neue Verwendungen, ist eine Erweiterung des Angebotsspektrums an Kiefernarten von Interesse. Die Einführung neuer Arten bringt die Notwendigkeit intensiver Forschung über die Anpassungsfähigkeit, Wachstum und insbesondere der Holzqualität mit sich. Genaue Kenntnisse über Holzeigenschaften ist eine Grundvoraussetzung um den Rohstoff Holz der am besten geeigneten Verwendung zuzuführen, die Nachhaltigkeit zu garantieren und den im Land existierenden Vorurteilen gegen die Arten dieser eingeführten Gattung zu begegnen. Aus Sicht der Holzindustrie ist für eine Wert- und Ausbeuteoptimierung die Entwicklung von nicht-zerstörerischen Technologien zur Bewertung der Holzeigenschaften notwendig, um eine optimale Ressourcennutzung sicher zu stellen. Unter diesen Voraussetzungen ist es Ziel der vorliegenden Arbeit, die Holzqualität von tropischen Kiefernarten mit Hilfe konventioneller und zerstörungsfreier Holzprüfverfahren zu untersuchen. Für diesen Zweck wurden 7 tropische Kiefernarten ausgewählt (*Pinus caribaea* var. *bahamensis*; *Pinus caribaea* var. *caribaea*; *Pinus caribaea* var. *hondurensis*; *Pinus chiapensis*; *Pinus maximinoi*; *Pinus oocarpa* und *Pinus tecunumanii*) sowie *Pinus taeda* (als Vergleichsbaumart). Die Probestämme stammen aus Versuchspflanzungen in Ventania aus dem brasilianischen Bundesstaat Paraná und Itararé (Bundesstaat São Paulo). Das Material hatte zum Zeitpunkt der Fällung ein Alter von 17, bzw. 18 Jahren. Die Plantagen wurden in einem Gemeinschaftsprojekt zwischen den Firmen CAMCORE, CCGMPT und Valor Florestal angelegt. Die Untersuchungen zur Holzqualität der ausgewählten Baumarten wurden, wie der Struktur der vorliegenden Arbeit zu entnehmen ist, in folgenden Schritten (10 Kapitel) durchgeführt: Kapitel 1: Forschungsbedarf und Struktur der Arbeit; Kapitel 2: Stand des Wissens über die untersuchten Kiefernarten; Kapitel 3: Geschwindigkeit der Fortpflanzung von Schallwellen in den Bäumen und Stämmen; Kapitel 4: Bewertung des Wachstums und der Volumenproduktion und deren Einfluss auf die Holzqualität. Kapitel 5: Holzanatomische Eigenschaften; Kapitel 6: Chemische Holzeigenschaften; Kapitel 7: Physikalische Holzeigenschaften; Kapitel 8: Mechanische Holzeigenschaften; Kapitel 9: Konventionelle und zerstörungsfreie Holzprüfung zur Bewertung des Holzes für konstruktive Zwecke; Kapitel 10: Schlussfolgerungen und Empfehlungen. Die konventionellen und zerstörungsfreien Holzuntersuchungen haben gezeigt, dass die

in dieser Arbeit bewerteten tropischen Kiefernarten über Holzeigenschaften verfügen, die ein breites Verwendungsspektrum erlauben. Die untersuchten Kiefernarten stellen ein vielversprechendes Rohstoffpotenzial dar und können die bisher traditionell von der Holzindustrie angebaute *Pinus taeda* teilweise ersetzen oder zumindest sinnvoll ergänzen. Das in dieser Arbeit untersuchte zerstörungsfreie Prüfverfahren hat sich als effiziente Möglichkeit zur Qualitätskontrolle des Holzes von Stämmen, fehlerfreien Prüfkörpern und Schnittholz mit eingewachsenen Ästen erwiesen.

Schlagwörter: Tropische und Subtropische Kiefern, Holzqualität, Holzeigenschaften; konventionelle Prüfverfahren; zerstörungsfreie Holzprüfung.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 2 - PINUS: FLORESTAS PLANTADAS, PROGRAMAS DE DESENVOLVIMENTO E PESQUISA E DESCRIÇÃO DE ESPÉCIES

FIGURA 2.1 – DISTRIBUIÇÃO DAS FLORESTAS PLANTADAS DE <i>Pinus</i> NO BRASIL	49
FIGURA 2.2 – CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE <i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	58
FIGURA 2.3 – CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE <i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	62
FIGURA 2.4 – CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	69
FIGURA 2.5 – CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE <i>Pinus chiapensis</i>	73
FIGURA 2.6 – CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE <i>Pinus maximinoi</i>	78
FIGURA 2.7 – CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE <i>Pinus oocarpa</i>	84
FIGURA 2.8 – CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE <i>Pinus tecunumanii</i>	90
FIGURA 2.9 – CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE <i>Pinus taeda</i>	97

CAPÍTULO 3 - VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS DE TENSÃO EM ÁRVORES E TORAS DE PINUS TROPICAIS

FIGURA 3.1 – LOCAL DE COLETA DAS ESPÉCIES	133
FIGURA 3.2 – AREA DE COLETA E AMOSTRAGEM DAS ÁRVORES	134
FIGURA 3.3 – ESQUEMA E APLICAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NAS ÁRVORES	135
FIGURA 3.4 – APLICAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NAS TORAS	136

CAPÍTULO 4 - CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO VOLUMÉTRICA EM SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

FIGURA 4.1 – CURVAS DE INCREMENTO	157
FIGURA 4.2 – DERRUBADA DAS ÁRVORES, SECCIONAMENTO E COLETA DOS DISCOS	166
FIGURA 4.3 – PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE E ESTABELECIMENTO DOS RAIOS DE MEDIÇÃO	167

GRÁFICO 4.1 – PERFIL DE CRESCIMENTO EM ALTURA E DIÂMETRO DE UMA ÁRVORE, AOS 17 ANOS DE IDADE	169
GRÁFICO 4.2 – CRESCIMENTO EM DIÂMETRO DAS ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS	173
GRÁFICO 4.3 – CRESCIMENTO EM ALTURA DAS ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS ..	186
GRÁFICO 4.5 – CRESCIMENTO EM VOLUME DAS ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS .	197

CAPÍTULO 5 – AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES ANATÔMICAS DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

FIGURA 5.1 – PROCEDIMENTOS PARA DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES ANATÔMICAS	238
FIGURA 5.2 – FOTOS MACROSCÓPICAS E MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DA ESPÉCIE <i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	239
FIGURA 5.3 – FOTOS MACROSCÓPICAS E MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DA ESPÉCIE <i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	240
FIGURA 5.4 – FOTOS MACROSCÓPICAS E MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DA ESPÉCIE <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	241
FIGURA 5.5 – FOTOS MACROSCÓPICAS E MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DA ESPÉCIE <i>Pinus chiapensis</i>	242
FIGURA 5.6 – FOTOS MACROSCÓPICAS E MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DA ESPÉCIE <i>Pinus maximinoi</i>	243
FIGURA 5.7 – FOTOS MACROSCÓPICAS E MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DA ESPÉCIE <i>Pinus oocarpa</i>	244
FIGURA 5.8 – FOTOS MACROSCÓPICAS E MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DA ESPÉCIE <i>Pinus tecunumanii</i>	245
FIGURA 5.9 – FOTOS MACROSCÓPICAS E MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DA ESPÉCIE <i>Pinus taeda</i>	246

CAPÍTULO 6 – AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

FIGURA 6.1 – PROCEDIMENTOS PARA DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS	296
--	-----

CAPÍTULO 7 – AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

FIGURA 7.1 – DERRUBADA DAS ÁRVORES, SECCIONAMENTO E COLETA DOS DISCOS	331
FIGURA 7.2 – ETAPAS DA DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA	332
FIGURA 7.3 – PROCEDIMENTOS DE DETERMINAÇÃO DO PERCENTUAL DOS LENHOS INICIAL E TARDIO E DA MADEIRA JUVENIL	334
FIGURA 7.4 – ETAPAS DE DETERMINAÇÃO DA RETRATIBILIDADE	335
GRÁFICO 7.1 – VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA AO LONGO DO FUSTE ..	352
GRÁFICO 7.2 – VARIAÇÃO DO PERCENTUAL DE LENHO TARDIO AO LONGO DO FUSTE	367

CAPÍTULO 8 - AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

FIGURA 8.1 – PROCESSO DE IDENTIFICAÇÃO DAS TORAS E DESDOBRO	418
FIGURA 8.2 – ESQUEMA DE RETIRADA E CONFECÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA DOS ENSAIOS MECÂNICOS	419
FIGURA 8.3 – CLIMATIZAÇÃO, MEDIÇÃO E DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO	420
FIGURA 8.4 – DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS	422
GRÁFICO 8.1 - RELAÇÕES ENTRE MÓDULO DE ELASTICIDADE CONVENCIONAL E MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO DA ESPÉCIE <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	470
GRÁFICO 8.2 - RELAÇÕES ENTRE MÓDULO DE ELASTICIDADE CONVENCIONAL E MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO DA ESPÉCIE <i>Pinus chiapensis</i>	470
GRÁFICO 8.3 - RELAÇÕES ENTRE MÓDULO DE ELASTICIDADE CONVENCIONAL E MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO DA ESPÉCIE <i>Pinus maximinoi</i>	471
GRÁFICO 8.4 - RELAÇÕES ENTRE MÓDULO DE ELASTICIDADE CONVENCIONAL E MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO DA ESPÉCIE <i>Pinus oocarpa</i>	471
GRÁFICO 8.5 - RELAÇÕES ENTRE MÓDULO DE ELASTICIDADE CONVENCIONAL E MÓDULOS DE ELASTICIDADE DINÂMICO DA ESPÉCIE <i>Pinus tecunumanii</i>	471

GRÁFICO 8.6 -	RELAÇÕES ENTRE MÓDULO DE ELASTICIDADE CONVENCIONAL E MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO DA ESPÉCIE <i>Pinus taeda</i>	472
---------------	--	-----

CAPÍTULO 9 - AVALIAÇÃO CONVENCIONAL E NÃO DESTRUTIVA DA MADEIRA DE PINUS TROPICAIS PARA USO ESTRUTURAL

FIGURA 9.1 –	CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA DE CONÍFERAS EM RELAÇÃO A ZONA JUVENIL E ADULTA	502
FIGURA 9.2 –	DESDOBRO PRINCIPAL PARA OBTENÇÃO DAS PRANCHAS	506
FIGURA 9.3 –	CONFECÇÃO DAS AMOSTRAS ESTRUTURAIS (VIGAS)	507
FIGURA 9.4 –	MEDIÇÃO, ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E ENSAIOS CONVENCIONAIS REALIZADOS NAS AMOSTRAS ESTRUTURAIS	510

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2 - PINUS: FLORESTAS PLANTADAS, PROGRAMAS DE DESENVOLVIMENTO E PESQUISA E DESCRIÇÃO DE ESPÉCIES

TABELA 2.1 – CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO DO <i>Pinus maximinoi</i> NO BRASIL, COLÔMBIA E ÁFRICA DO SUL	75
TABELA 2.2 – CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO DO <i>Pinus taeda</i> EM ÁREAS DE OCORRÊNCIA NATURAL	91

CAPÍTULO 3 - VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS DE TENSÃO EM ÁRVORES E TORAS DE PINUS TROPICAIS

TABELA 3.1 – ESPÉCIES DE PINUS UTILIZADAS NA PESQUISA	132
TABELA 3.2 – RESULTADOS MÉDIOS DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS NA SEÇÃO TRANSVERSAL (DAP) DAS ÁRVORES	137
TABELA 3.3 – RESULTADOS MÉDIOS DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS NA SEÇÃO DIAGONAL (DAP - BASE) DAS ÁRVORES	139
TABELA 3.4 – RESULTADOS MÉDIOS DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO, EM TORAS, POR ESPÉCIE	141
TABELA 3.5 – RESULTADOS MÉDIOS DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS NAS TORAS AO LONGO DA ALTURA COMERCIAL ENTRE ESPÉCIES E NA ESPÉCIE	143

CAPÍTULO 4 - CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO VOLUMÉTRICA DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

TABELA 4.1 – RESULTADOS MÉDIOS DE DIÂMETRO NA ALTURA DO PEITO, ALTURA TOTAL E VOLUME INDIVIDUAL COM CASCA	170
TABELA 4.2 – EVOLUÇÃO DO DIÂMETRO (C/C) NA ALTURA DO PEITO AO LONGO DOS 17 ANOS DE CRESCIMENTO	172
TABELA 4.3 – EVOLUÇÃO DA ALTURA TOTAL AO LONGO DOS 17 ANOS DE CRESCIMENTO	185
TABELA 4.4 – EVOLUÇÃO DO VOLUME MÉDIO INDIVIDUAL COM CASCA AO LONGO DOS 17 ANOS DE CRESCIMENTO	196

TABELA 4.5 – RESULTADOS MÉDIOS DO INCREMENTO CORRENTE ANUAL EM VOLUME (ICA _v) AO LONGO DOS 17 ANOS DE CRESCIMENTO	207
TABELA 4.6 – RESULTADOS MÉDIOS DO FATOR DE FORMA ARTIFICIAL DAS ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS	208
TABELA 4.7 – RESULTADOS MÉDIOS DO VOLUME E DO PERCENTUAL DE CASCA DAS ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS	210
TABELA 4.8 – RESULTADOS MÉDIOS DE MASSA SECA DAS ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS	212

CAPÍTULO 5 – AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES ANATÔMICAS DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

TABELA 5.1 – ÍNDICES PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA POLPA CELULÓSICA E DO PAPEL	235
TABELA 5.2 – PROPRIEDADES MACROSCÓPICAS DAS ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS	247
TABELA 5.3 – RESULTADOS MÉDIOS DOS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS DAS MADEIRAS DE PINUS TROPICAIS	249
TABELA 5.4 – PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS DAS MADEIRAS DE PINUS TROPICAIS OBTIDAS A PARTIR DAS FACES TRANSVERSAIS, TANGENCIAIS E RADIAIS	250
TABELA 5.5 – PROPRIEDADES DE COR DAS ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS OBTIDAS A PARTIR DE DIFERENTES POSIÇÕES RADIAIS	253
TABELA 5.6 – RESULTADOS MÉDIOS DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÓIDES DE PINUS TROPICAIS	255
TABELA 5.7 – RESULTADOS MÉDIOS DAS RELAÇÕES ENTRE AS DIMENSÕES DOS TRAQUEÓIDES DE PINUS TROPICAIS	262
TABELA 5.8 – RESULTADOS MÉDIOS DAS DIMENSÕES DOS TRAQUEÓIDES DE PINUS TROPICAIS NO SENTIDO LONGITUDINAL	266
TABELA 5.9 – RESULTADOS MÉDIOS DAS RELAÇÕES ENTRE AS DIMENSÕES DOS TRAQUEÓIDES DE PINUS TROPICAIS NO SENTIDO LONGITUDINAL ...	268
TABELA 5.10 – RESULTADOS MÉDIOS DAS DIMENSÕES DOS TRAQUEÓIDES DE PINUS TROPICAIS NO SENTIDO RADIAL	270
TABELA 5.11 – RESULTADOS MÉDIOS DAS RELAÇÕES ENTRE AS DIMENSÕES DOS TRAQUEÓIDES DE PINUS TROPICAIS NO SENTIDO RADIAL	272

CAPÍTULO 6 – AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

TABELA 6.1 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA	287
TABELA 6.2 – RESULTADOS MÉDIOS DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DA MADEIRA DE PINUS TROPICAIS	298
TABELA 6.3 – RESULTADOS MÉDIOS DO pH DAS ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS .	305

CAPÍTULO 7 – AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

TABELA 7.1 – MASSAS ESPECÍFICAS DE DIFERENTES ESPÉCIES DO GÊNERO <i>Pinus</i>	321
TABELA 7.2 – INFLUÊNCIA DO TEOR DE UMIDADE SOBRE A MASSA ESPECÍFICA DA MADEIRA	322
TABELA 7.3 – QUALIDADE DA MADEIRA SEGUNDO O COEFICIENTE DE ANISOTROPIA	329
TABELA 7.4 – VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA BÁSICA POR ESPÉCIE	336
TABELA 7.5 – VALORES MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA AO LONGO DO FUSTE DE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS	349
TABELA 7.6 – INFLUÊNCIA DO TEOR DE UMIDADE SOBRE A MASSA ESPECÍFICA DA MADEIRA	356
TABELA 7.7 – RESULTADOS MÉDIOS DO PERCENTUAL DE MADEIRA JUVENIL E MADEIRA ADULTA	357
TABELA 7.8 – RESULTADOS MÉDIOS DO PERCENTUAL DE MADEIRA JUVENIL AO LONGO DO FUSTE DE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS	360
TABELA 7.9 – RESULTADOS MÉDIOS DO PERCENTUAL DE LENHO INICIAL E LENHO TARDIO	363
TABELA 7.10 – RESULTADOS MÉDIOS DO PERCENTUAL DE LENHO TARDIO AO LONGO DO FUSTE DE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS	366
TABELA 7.11 – RESULTADOS MÉDIOS DO PERCENTUAL DE LENHO INICIAL E LENHO TARDIO NA MADEIRA JUVENIL E NA MADEIRA ADULTA	368
TABELA 7.12 – VALORES MÉDIOS DA LARGURA DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO	371
TABELA 7.13 – RESULTADOS MÉDIOS DA ESTABILIDADE DIMENSIONAL DAS ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS	373

TABELA 7.14 –RESULTADOS MÉDIOS DOS COEFICIENTES DE RETRATIBILIDADE ...	380
TABELA 7.15 - CORRELAÇÕES ENTRE MASSA ESPECÍFICA, PROPORÇÃO DE MADEIRA JUVENIL E LENHO TARDIO	382
TABELA 7.16 –CORRELAÇÕES ENTRE MASSA ESPECÍFICA BÁSICA, CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA E ANISOTROPIA DE CONTRAÇÃO	384
TABELA 7.17 –CORRELAÇÕES ENTRE MASSA ESPECÍFICA E VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NAS ÁRVORES EM PÉ E NAS TORAS	396
TABELA 7.18 –CORRELAÇÕES ENTRE CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA, ANISOTROPIA DE CONTRAÇÃO E VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NAS TORAS	387
TABELA 7.19 –CORRELAÇÕES ENTRE MASSA ESPECÍFICA BÁSICA, PROPORÇÃO DE MADEIRA JUVENIL, PERCENTUAL DE LENHO TARDIO E CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO	388

CAPÍTULO 8 - AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

TABELA 8.1 –VALORES PARA CORREÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DEVIDO A VARIAÇÃO NO TEOR DE UMIDADE	415
TABELA 8.2 –RESULTADOS MÉDIOS DE RESISTÊNCIA A FLEXÃO ESTÁTICA NA CONDIÇÃO VERDE	423
TABELA 8.3 –RESULTADOS MÉDIOS DE RESISTÊNCIA A FLEXÃO ESTÁTICA NA CONDIÇÃO SECA A 12%	425
TABELA 8.4 –INFLUÊNCIA DO TEOR DE UMIDADE SOBRE AS PROPRIEDADES DE FLEXÃO ESTÁTICA	432
TABELA 8.5 –INFLUÊNCIA DA POSIÇÃO LONGITUDINAL SOBRE O MÓDULO DE RUPTURA À FLEXÃO ESTÁTICA A 12%	435
TABELA 8.6 –INFLUÊNCIA DA POSIÇÃO LONGITUDINAL SOBRE O MÓDULO DE ELASTICIDADE À FLEXÃO ESTÁTICA A 12%	437
TABELA 8.7 –RESULTADOS MÉDIOS DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO PARALELA NA CONDIÇÃO VERDE	438
TABELA 8.8 –RESULTADOS MÉDIOS DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO PARALELA NA CONDIÇÃO SECA A 12%	440
TABELA 8.9 – INFLUÊNCIA DO TEOR DE UMIDADE SOBRE AS PROPRIEDADES DE COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS	444

TABELA 8.10 –INFLUÊNCIA DA POSIÇÃO LONGITUDINAL SOBRE O MÓDULO DE RUPTURA À COMPRESSÃO PARALELA AS FIBRAS A 12%	446
TABELA 8.11 –INFLUÊNCIA DA POSIÇÃO LONGITUDINAL SOBRE O MÓDULO DE ELASTICIDADE À COMPRESSÃO PARALELA AS FIBRAS A 12%	449
TABELA 8.12 –RESULTADOS MÉDIOS DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO TANGENCIAL NA CONDIÇÃO VERDE	450
TABELA 8.13 –RESULTADOS MÉDIOS DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO TANGENCIAL NA CONDIÇÃO SECA A 12%	451
TABELA 8.14 –EFEITO DO TEOR DE UMIDADE SOBRE A RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO	454
TABELA 8.15 –EFEITO DA POSIÇÃO LONGITUDINAL SOBRE A RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO A 12% DE UMIDADE	456
TABELA 8.16 –RESULTADOS MÉDIOS DE DUREZA JANKA NA CONDIÇÃO VERDE	458
TABELA 8.17 –RESULTADOS MÉDIOS DE DUREZA NA CONDIÇÃO VERDE DE ACORDO COM A FACE AVALIADA	459
TABELA 8.18 –RESULTADOS MÉDIOS DE DUREZA JANKA NA CONDIÇÃO SECA A 12%	460
TABELA 8.19 –RESULTADOS MÉDIOS DE DUREZA NA CONDIÇÃO SECA A 12% DE ACORDO COM A FACE AVALIADA	462
TABELA 8.20 –INFLUÊNCIA DO TEOR DE UMIDADE SOBRE A DUREZA MÉDIA E SOBRE A DUREZA NAS DIFERENTES FACES AVALIADAS	465
TABELA 8.21 –INFLUÊNCIA DA POSIÇÃO LONGITUDINAL SOBRE A DUREZA MÉDIA, A 12% DE UMIDADE	467
TABELA 8.22 –RESULTADOS MÉDIOS DO MÓDULO DE ELASTICIDADE ESTÁTICO E DINÂMICO EM ENSAIOS DE FLEXÃO ESTÁTICA	469
TABELA 8.23 –CORRELAÇÕES EXISTENTES ENTRE PROPRIEDADES MECÂNICAS AVALIADAS NA CONDIÇÃO VERDE E MASSA ESPECÍFICA BÁSICA	473
TABELA 8.24 –CORRELAÇÕES EXISTENTES ENTRE PROPRIEDADES MECÂNICAS AVALIADAS NA CONDIÇÃO SECA A 12% E MASSA ESPECÍFICA BÁSICA	474
TABELA 8.25 –CORRELAÇÕES EXISTENTES ENTRE PROPRIEDADES MECÂNICAS AVALIADAS NA CONDIÇÃO VERDE E VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS NAS TORAS	476

TABELA 8.26 – CORRELAÇÕES EXISTENTES ENTRE PROPRIEDADES MECÂNICAS AVALIADAS NA CONDIÇÃO SECA A 12% E VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS NAS TORAS	477
---	-----

CAPÍTULO 9 - AVALIAÇÃO CONVENCIONAL E NÃO DESTRUTIVA DA MADEIRA DE PINUS TROPICAIS PARA USO ESTRUTURAL

TABELA 9.1 - VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DA MADEIRA EM RELAÇÃO AO ÂNGULO DE GRÃ	498
TABELA 9.2 - RELAÇÃO ENTRE RESISTÊNCIA (%), TAMANHO DO NÓ E LARGURA DA PEÇA ESTRUTURAL	500
TABELA 9.3 - CORRELAÇÕES ENTRE MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO OBTIDO PELO MÉTODO DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS DE TENSÃO E ENSAIOS CONVENCIONAIS.....	505
TABELA 9.4 - ÂNGULO DE GRÃ DAS ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS	511
TABELA 9.5 - RESULTADOS MÉDIOS RELATIVOS A AVALIAÇÃO DOS NÓS NAS ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS	513
TABELA 9.6 - RESULTADOS MÉDIOS DO MÓDULO DE RUPTURA E MÓDULOS DE ELASTICIDADE CONVENCIONAL E DINÂMICO	515
TABELA 9.7 - INFLUÊNCIA DA POSIÇÃO RADIAL SOBRE OS MÓDULOS DE RUPTURA E ELASTICIDADE À FLEXÃO ESTÁTICA E SOBRE A MASSA ESPECÍFICA	519
TABELA 9.8 - INFLUÊNCIA DA ORIENTAÇÃO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO SOBRE OS MÓDULOS DE RUPTURA E ELASTICIDADE À FLEXÃO ESTÁTICA	523
TABELA 9.9 - CORRELAÇÕES ENTRE MASSA ESPECÍFICA, MÓDULO DE RUPTURA, MÓDULO DE ELASTICIDADE CONVENCIONAL E MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO	525
TABELA 9.10- CORRELAÇÕES ENTRE PERCENTUAL DE LENHO TARDIO, MÓDULO DE RUPTURA, MÓDULO DE ELASTICIDADE CONVENCIONAL E MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO.....	528
TABELA 9.11- CORRELAÇÕES ENTRE ÂNGULO DE GRÃ, MÓDULO DE RUPTURA, MÓDULO DE ELASTICIDADE CONVENCIONAL E MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO.....	529
TABELA 9.12- CORRELAÇÕES ENTRE DEFORMAÇÃO, MÓDULO DE RUPTURA, MÓDULO DE ELASTICIDADE CONVENCIONAL E MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO	530
TABELA 9.13- CORRELAÇÕES ENTRE VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO, MÓDULO DE RUPTURA E MÓDULO DE ELASTICIDADE CONVENCIONAL	531

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIMCI – Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRAF – Associação Brasileira dos Produtores de Florestas Plantadas

ASTM – American Society for Testing and Materials

a* – pigmentação vermelha

b* – pigmentação amarela

C – saturação ou cromaticidade

CAMCORE – Central América and México Coniferous Resources Cooperative

CAP – Circunferência na Altura do Peito

CCGMPT – Centro de Conservação Genética e Melhoramento de Pinheiros Tropicais

CIELAB – Commission International de L'Eclairage

CF – Coeficiente de Flexibilidade

COPANT – Commission Panamericana de Normas Técnicas

DAP – Diâmetro na Altura do Peito

EGP – Edge Glued Panel

FP – Fração Parede

FPL – Forest Products Laboratory

h* – Ângulo de tinta

IAWA – International Association of Wood anatomists

IE – Índice de Enfeltramento

IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

IR – Índice de Runkel

L – Luminosidade

LI – Lenho inicial

LT – Lenho tardio

LVL – Laminated veneer lumber

MA – Madeira adulta

ME – Massa específica

MOE – Módulo de elasticidade

MOE_{conv} – Módulo de elasticidade convencional

MOE_d – Módulo de elasticidade dinâmico

MOR – Módulo de ruptura

MJ – Madeira juvenil

NaOH – Hidróxido de sódio

OSB – Oriented strand board

pH – potencial hidrogeniônico

RD – Radial

SGM – Stress Grading Machine

SWT – Stress wave timer

TAPPI – Technical Association of the Pulp and Paper Industry

TG – Tangencial

TR – Transversal

USDA – United States Department of Agriculture

UF – Uréia-formaldeído

V_{SWT} – Velocidade de propagação das ondas de tensão

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - IMPORTÂNCIA, MOTIVAÇÃO E ESTRUTURA DA TESE	33
1.1 INTRODUÇÃO	34
1.2 MOTIVAÇÃO E HIPÓTESES DE PESQUISA	36
1.3 OBJETIVOS DA TESE	37
1.4 ESTRUTURA DA TESE	38
1.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	44
CAPÍTULO 2 – PINUS: FLORESTAS PLANTADAS, PROGRAMAS DE DESENVOLVIMENTO E PESQUISA E DESCRIÇÃO DE ESPÉCIES	45
2.1 INTRODUÇÃO	46
2.1.1 Objetivo geral	47
2.2 REVISÃO DE LITERATURA	48
2.2.1 Panorama florestal no Brasil.....	48
2.2.1.1 Florestas plantadas de <i>Pinus</i>	49
2.2.2 Programas de desenvolvimento e pesquisa	50
2.2.2.1 Central América and México Coniferous Resources Cooperative – CAMCORE	50
2.2.2.2 Centro de Conservação Genética e Melhoramento de Pinheiros Tropicais – CCGMPT	52
2.2.3 Descrição de espécies do gênero <i>Pinus</i>	53
2.2.3.1 <i>Pinus caribaea</i>	53
2.2.3.1.1 <i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i> Barr. & Golf.	54
2.2.3.1.2 <i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i> Morelet	59
2.2.3.1.3 <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> Barr. & Golf.	63
2.2.3.2 <i>Pinus chiapensis</i> Andresen	70
2.2.3.3 <i>Pinus maximinoi</i> H.E. Moore	74
2.2.3.4 <i>Pinus oocarpa</i> Schiede	79
2.2.3.5 <i>Pinus tecunumanii</i> Piedra & Perry	85

2.2.3.4 <i>Pinus taeda</i> L.	91
2.3 REFERÊNCIAS	98
CAPÍTULO 3 - VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS DE TENSÃO EM ÁRVORES E TORAS DE PINUS TROPICAIS	119
3.1 INTRODUÇÃO	120
3.1.1 Objetivo geral.....	121
3.1.2 Objetivos específicos	121
3.2 REVISÃO DE LITERATURA	122
3.2.1 Fundamentos físicos da propagação de ondas de tensão na madeira	124
3.2.2 Aplicação de ondas de tensão para avaliação da qualidade da madeira e de produtos de madeira	125
3.2.3 Aplicação da propagação de ondas de tensão para avaliação da qualidade da madeira a partir de arvores em pé	128
3.3 MATERIAIS E MÉTODOS	132
3.3.1 Espécies estudadas	132
3.3.2 Descrição dos locais e amostragem do material	133
3.3.2.1 Descrição do local	133
3.3.2.2 Amostragem do material em campo.....	134
3.3.3 Aplicação das ondas de tensão	135
3.3.3.1 Aplicação das ondas da tensão nas árvores	135
3.3.3.2 Aplicação das ondas da tensão nas toras	136
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	137
3.4.1 Avaliação da propagação de ondas de tensão em árvores	137
3.4.2 Avaliação da propagação das ondas de tensão nas toras	140
3.5 CONCLUSÕES	146
3.6 REFERÊNCIAS	147
CAPÍTULO 4 - CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO VOLUMÉTRICA DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS	152
4.1 INTRODUÇÃO.....	153
4.1.1 Objetivo geral	155

4.1.2	Objetivos específicos	155
4.2	REVISÃO DE LITERATURA	156
4.2.1	Características de crescimento e produção florestal	156
4.2.1.1	Diâmetro	157
4.2.1.2	Altura	159
4.2.1.3	Volume	159
4.2.1.4	Fator de forma	160
4.2.1.5	Produção de massa seca	163
4.2.2	Análise de tronco.....	163
4.3	MATERIAIS E MÉTODOS	165
4.3.1	Informações a respeito do local de coleta	165
4.3.2	Coleta de árvores e seccionamento do fuste	165
4.3.3	Preparação das amostras e medição.....	166
4.3.4	Processamento dos dados.....	167
4.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	169
4.4.1	Características de crescimento e produção volumétrica	169
4.4.1.1	Crescimento em diâmetro	171
4.4.1.2	Crescimento em altura	184
4.4.1.3	Crescimento em volume	195
4.4.1.4	Incremento Corrente Anual em volume	206
4.4.3	Fator de forma artificial	208
4.4.4	Volume e percentual de casca	210
4.4.5	Produção de massa seca	212
4.5	CONCLUSÕES	214
4.6	REFERÊNCIAS	215
CAPÍTULO 5 - AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES ANATÔMICAS DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS		224
5.1	INTRODUÇÃO	225
5.1.1	Objetivo geral	226

5.1.2	Objetivos específicos	226
5.2	REVISÃO DE LITERATURA	227
5.2.1	Propriedades anatômicas	227
5.2.1.1	Características organolépticas	228
5.2.1.1.1	Cor	230
5.2.1.2	Características dos traqueóides	232
5.3	MATERIAIS E MÉTODOS	236
5.4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	239
5.4.1	Descrição macroscópica das espécies	239
5.4.1.1	<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	239
5.4.1.2	<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	240
5.4.1.3	<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	240
5.4.1.4	<i>Pinus chiapensis</i>	241
5.4.1.5	<i>Pinus maximinoi</i>	242
5.4.1.6	<i>Pinus oocarpa</i>	243
5.4.1.7	<i>Pinus tecunumanii</i>	244
5.4.1.8	<i>Pinus taeda</i>	245
5.4.1.9	Resumo das propriedades macroscópicas	246
5.4.2	Propriedades da cor	248
5.4.3	Características morfológicas e relações entre as dimensões dos traqueóides.....	255
5.4.3.1	Efeito da posição longitudinal sobre características dos traqueóides	265
5.4.3.2	Efeito da posição radial sobre as características dos traqueóides	269
5.5	CONCLUSÕES	274
5.6	REFERÊNCIAS	276
CAPÍTULO 6 - AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS		283
6.1	INTRODUÇÃO	284
6.1.1	Objetivo geral	285
6.1.2	Objetivos específicos	285

6.2 REVISÃO DE LITERATURA	286
6.2.1 Componentes fundamentais.....	287
6.2.1.1 Celulose	287
6.2.1.2 Hemicelulose	288
6.2.1.3 Lignina	289
6.2.2 Componentes acidentais	290
6.2.2.1 Extrativos	290
6.2.2.2 Materiais inorgânicos.....	292
6.2.3 Ph	292
6.3 MATERIAIS E MÉTODOS	294
6.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	297
6.4.1 Composição química quantitativa	297
6.4.2 p H	305
6.5 CONCLUSÕES	308
6.6 REFERÊNCIAS	309
CAPÍTULO 7 - AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS	314
7.1 INTRODUÇÃO	315
7.1.1 Objetivo geral	317
7.1.2 Objetivos específicos	317
7.2 REVISÃO DE LITERATURA	318
7.2.1 Massa específica	318
7.2.1.1 Fatores que afetam a massa específica	320
7.2.1.1.1 Espécie	320
7.2.1.1.2 Teor de umidade	322
7.2.1.1.3 Madeira juvenil	323
7.2.1.1.4 Lenho inicial e lenho tardio	325
7.2.1 Retratibilidade	327
7.3 MATERIAIS E MÉTODOS	331

7.3.1 Determinação das propriedades físicas	331
7.3.1.1 Coleta de árvores e seccionamento do fuste	331
7.3.1.2 Determinação da massa específica básica	331
7.3.1.3 Determinação do percentual de madeira juvenil, lenho inicial e lenho tardio	333
7.3.1.4 Determinação da retratibilidade	334
7.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	336
7.4.1 Massa específica	336
7.4.1.1 Massa específica básica média	336
7.4.1.2 Massa específica básica ao longo do fuste	348
7.4.1.3 Influência do teor de umidade sobre a massa específica	355
7.4.2 Madeira juvenil	357
7.4.2.1 Proporção de madeira juvenil	357
7.4.2.2 Proporção de madeira juvenil ao longo do fuste	359
7.4.3 Percentual de lenho inicial e lenho tardio.....	362
7.4.3.1 Percentual de lenho tardio ao longo do fuste	365
7.4.3.2 Percentual de lenho inicial e tardio na madeira juvenil e adulta	368
7.4.4 Largura dos anéis de crescimento	370
7.4.5 Retratibilidade	372
7.4.6 Correlações entre propriedades.....	382
7.4.6.1 Correlações entre massa específica, madeira juvenil e lenho tardio	382
7.4.6.2 Correlações entre massa específica e retratibilidade	383
7.4.6.3 Correlações entre massa específica e velocidade de propagação das ondas de tensão nas árvores em pé e nas toras	385
7.4.6.4 Correlações entre retratibilidade e velocidade de propagação das ondas de tensão	387
7.4.6.5 Correlações entre massa específica, proporção de madeira juvenil, percentual de lenho tardio e características de crescimento.....	388
7.5 CONCLUSÕES	390
7.6 REFERÊNCIAS	393

CAPÍTULO 8 - AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS	406
8.1 INTRODUÇÃO	407
8.1.1 Objetivo geral	409
8.1.2 Objetivos específicos	409
8.2 REVISÃO DE LITERATURA	410
8.2.1 Fatores que afetam as propriedades mecânicas	412
8.2.1.1 Teor de umidade	413
8.2.1.2 Posição na árvore	416
8.3 MATERIAIS E MÉTODOS	418
8.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	423
8.4.1 Flexão estática	423
8.4.1.1 Flexão estática na madeira em condição verde	423
8.4.1.2 Flexão estática na condição de umidade de equilíbrio de 12%	424
8.4.1.3 Influência do teor de umidade sobre as propriedades de flexão estática	431
8.4.1.4 Influência da posição longitudinal sobre as propriedades de flexão estática	434
8.4.2 Compressão paralela às fibras	438
8.4.2.1 Compressão paralela às fibras na madeira em condição verde	438
8.4.2.2 Compressão paralela em umidade de equilíbrio de 12%	439
8.4.2.3 Influência do teor de umidade sobre as propriedades de compressão paralela às fibras	444
8.4.2.4 Influência da posição longitudinal sobre as propriedades de compressão paralela às fibras	445
8.4.3 Cisalhamento	450
8.4.3.1 Cisalhamento na madeira em condição verde	450
8.4.3.2 Cisalhamento na condição de umidade de equilíbrio de 12%	451
8.4.3.3 Influência do teor de umidade sobre a resistência ao cisalhamento.....	454
8.4.3.4 Influência da posição longitudinal sobre a resistência ao cisalhamento	455
8.4.4 Dureza	457
8.4.4.1 Dureza Janka na madeira em condição verde	457

8.4.4.2 Dureza Janka na condição de umidade de equilíbrio de 12%	460
8.4.4.3 Influência do teor de umidade sobre a dureza	464
8.4.4.4 Influência da posição longitudinal sobre a dureza	466
8.4.5 Estimativa do módulo de elasticidade por meio de emissão de ondas de tensão.....	468
8.4.6 Correlações entre propriedades	473
8.4.6.1 Correlações entre propriedades mecânicas e massa específica	473
8.4.6.2 Correlações entre propriedades mecânicas e velocidade de propagação das ondas de tensão	476
8.5 CONCLUSÕES	479
8.6 REFERÊNCIAS	482
CAPÍTULO 9 - AVALIAÇÃO CONVENCIONAL E NÃO DESTRUTIVA DA MADEIRA DE PINUS TROPICAIS PARA USO ESTRUTURAL	490
9.1 INTRODUÇÃO.....	491
9.1.1 Objetivo geral	493
9.1.2 Objetivos específicos	493
9.2 REVISÃO DE LITERATURA	494
9.2.1 Madeira na construção civil	494
9.2.1.1 Principais fatores que afetam as propriedades da madeira para uso estrutural	496
9.2.1.1.1 Inclinação da grã	497
9.2.1.1.2 Presença de nós	498
9.2.1.1.3 Posição radial	501
9.2.1.1.4 Orientação dos anéis de crescimento	502
9.2.2 Métodos não destrutivos para avaliação da madeira utilizada na construção	503
9.3 MATERIAIS E MÉTODOS	506
9.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	511
9.4.1 Ângulo de grã	511
9.4.2 Nodosidade	513
9.4.3 Módulo de ruptura e módulos de elasticidade	515

9.4.4	Influência da posição radial sobre o módulo de ruptura, módulo de elasticidade e massa específica	518
9.4.5	Influência da orientação dos anéis de crescimento sobre o módulo de ruptura e o módulo de elasticidade	522
9.4.6	Correlações entre as propriedades	524
9.4.6.1	Correlações entre massa específica e propriedades mecânicas	524
9.4.6.2	Correlações entre percentual de lenho tardio e propriedades mecânicas ..	527
9.4.6.3	Correlações entre ângulo de grã e propriedades mecânicas.....	529
9.4.6.4	Correlações entre deformação e propriedades mecânicas	530
9.4.6.5	Correlações entre velocidade de propagação das ondas de tensão e propriedades mecânicas	531
9.5	CONCLUSÕES	533
9.6	REFERÊNCIAS	535
	CAPÍTULO 10 - CONCLUSÕES GERAIS E CONSIDERAÇÕES FINAIS	443
10.1	CONCLUSÕES GERAIS	544
10.1.1	Velocidade de propagação das ondas de tensão nas árvores e toras.....	544
10.1.2	Características de crescimento e produção volumétrica	545
10.1.3.	Propriedades anatômicas	546
10.1.4	Propriedades químicas	547
10.1.5	Propriedades físicas	549
10.1.6	Propriedades mecânicas.....	550
10.1.7	Avaliação convencional e não destrutiva da madeira para uso estrutural.....	551
10.2	CONSIDERAÇÕES FINAIS	552

CAPÍTULO 1

IMPORTÂNCIA, MOTIVAÇÃO E ESTRUTURA DA TESE

CAPÍTULO 1

IMPORTÂNCIA, MOTIVAÇÃO E ESTRUTURA DA TESE

1.1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país de elevado potencial florestal tendo sua cobertura composta por florestas naturais e plantadas, as quais abrangem aproximadamente 545 milhões de ha, o que equivale a 2/3 do território nacional. As florestas naturais, localizadas principalmente na região amazônica e denominadas florestas tropicais são predominantes, com total de 539 milhões de ha (ABIMCI, 2009). Já as áreas de florestas plantadas somam cerca de 6,5 milhões de ha (ABRAF, 2011).

Ao longo dos anos, com a redução da disponibilidade de madeira das florestas tropicais e com as restrições impostas à utilização indiscriminada destas florestas para fornecimento de madeira para uso industrial, novas espécies passaram a ser plantadas e utilizadas, constituindo assim, uma alternativa de suprimento de matéria prima para as indústrias madeireiras.

Atualmente, a indústria de base florestal utiliza em grande escala florestas plantadas do gênero *Pinus* e *Eucalyptus*. As espécies de *Eucalyptus* constituem aproximadamente 73% dos plantios (4,75 milhões de ha), sendo amplamente plantadas na Região Sudeste, principalmente nos estados de São Paulo e Minas Gerais. Já o gênero *Pinus* compõe 23% dos plantios (1,75 milhões de ha), localizando-se principalmente na Região Sul, nos estados do Paraná e Santa Catarina (ABRAF, 2011).

As espécies do gênero *Pinus* mais plantadas e tradicionalmente utilizadas pela indústria madeireira são o *Pinus taeda* e o *Pinus elliottii*, os quais tiveram sua silvicultura intensificada a partir dos incentivos fiscais de 1966, promovidos pelo governo federal. Estas espécies destacaram-se pelo rápido crescimento, facilidade de aplicação de práticas silviculturais e de manejo, além da sua elevada produtividade, no entanto, frente a algumas aplicações apresentaram limitações

tecnológicas, como baixa resistência mecânica e elevada presença de resina e extrativos (*Pinus elliottii*), o que dificulta a colagem, o processamento mecânico e os processos de secagem.

Neste contexto, apesar do potencial silvicultural destas espécies, o qual é fator fundamental para a sustentação do parque industrial madeireiro, outras espécies deste mesmo gênero, devem ser objeto de pesquisas tecnológicas, aumentando ainda mais a diversidade de matéria prima, e conseqüentemente melhorando a qualidade dos produtos já existentes, bem como, servindo como base para o desenvolvimento de novos produtos e adequação dos processos.

Entre as diversas espécies deste gênero, merecem destaque algumas espécies de *Pinus* tropicais, as quais têm revelado grande potencial produtivo no Brasil. No entanto, apesar da elevada potencialidade, escassas são as pesquisas sobre as características e qualidade tecnológica destas espécies.

Desta forma, torna-se necessário o estudo da qualidade da madeira destas espécies, que se traduz na determinação de um conjunto de características que indicam a sua adequação a um determinado uso ou a um conjunto de usos. A determinação destas propriedades, além de promover a correta utilização das espécies e contribuir para a geração de produtos de maior valor agregado, proporciona o aprimoramento e o emprego de novas tecnologias de transformação e uso racional dos produtos florestais.

Entre as inúmeras propriedades da madeira que merecem atenção e pesquisas, encontram-se as propriedades anatômicas, químicas, físicas e mecânicas. Todas estas propriedades interagem, influenciando-se mutuamente e determinando sua aplicação tecnológica.

Por outro lado, além do conhecimento das propriedades tecnológicas pelos métodos convencionais, é extremamente importante desenvolver e aprimorar tecnologias de avaliação da qualidade da madeira por meio de métodos não destrutivos. Estes métodos são de grande relevância tanto para a silvicultura como para indústria madeireira, pois permitem obter uma série de vantagens, como por exemplo, maior facilidade de execução já que não é necessário extração de corpos de prova, rapidez na obtenção dos resultados, custo relativamente baixo, além de utilização posterior, pois não há comprometimento do material avaliado.

Entre as diversas tecnologias não destrutivas, destacam-se as baseadas no fenômeno acústico, como por exemplo, a emissão de ondas de tensão, que possibilita classificar a madeira em classes de qualidade e estimar o módulo de elasticidade dinâmico. Esta tecnologia tornou-se amplamente aceita na indústria de produtos florestais, sendo bastante utilizada no controle de qualidade e na classificação de produtos. Além disso, o desenvolvimento desta técnica contribuiu significativamente para a avaliação de florestas em pé, prevendo e antecipando a qualidade do produto final, bem como, para a redução do desperdício de matéria prima.

1.2 MOTIVAÇÃO E HIPÓTESES DE PESQUISA

A motivação inicial desta pesquisa baseou-se na necessidade de fornecer mais informações sobre as alternativas de matéria prima para a indústria de base florestal, bem como apresentar as características das espécies de *Pinus* tropicais, até então pouco conhecidas e utilizadas tecnologicamente. Um trabalho preliminar de avaliação das propriedades mecânicas da madeira de sete espécies de *Pinus* tropicais trouxe consigo resultados bastante promissores, no entanto, não totalmente esclarecedores, além de muitos questionamentos a respeito da qualidade da madeira e seu comportamento frente às mais diversas utilizações.

Desta forma, instigada por estes questionamentos e pelo fascinante mundo da pesquisa científica em ciência e tecnologia florestal, foram desenvolvidos experimentos nas áreas de crescimento e produtividade volumétrica, propriedades físicas, anatômicas e químicas, remodelação e aumento da amostragem na avaliação mecânica e estudos referentes à aplicação e uso de metodologias não destrutivas para a avaliação da qualidade da madeira destas espécies.

Neste contexto, esta tese foi fundamentada nas seguintes hipóteses de pesquisa:

- 1) As espécies de *Pinus* tropicais podem apresentar características tecnológicas e de crescimento superiores às espécies tradicionalmente utilizadas pela indústria de base florestal, especialmente ao *Pinus taeda*, que atualmente é a

matéria prima básica da indústria florestal brasileira e que servirá como parâmetro de comparações neste trabalho?

- 2) É possível prever a qualidade da madeira das espécies de *Pinus* tropicais pelo emprego de tecnologias e métodos não destrutivos?

1.3 OBJETIVOS DA TESE

Estabelecida a importância da utilização de outras espécies de *Pinus* na indústria de base florestal e confirmada a escassez de informações sobre as características, propriedades e variabilidade da madeira de espécies de *Pinus* tropicais, o objetivo geral desta tese é:

“Avaliar a qualidade da madeira de espécies de *Pinus* tropicais (*Pinus caribaea* var. *bahamensis*; *Pinus caribaea* var. *caribaea*; *Pinus caribaea* var. *hondurensis*; *Pinus chiapensis*; *Pinus maximinoi*; *Pinus oocarpa* e *Pinus tecunumanii*) por meio de métodos convencionais e não destrutivos”.

Para atingir o objetivo principal, os seguintes objetivos específicos foram propostos e estabelecidos em diversos capítulos:

- 1) Avaliar as características de crescimento e produção volumétrica das sete espécies de *Pinus* tropicais, estabelecendo comparações com o *Pinus taeda*.
- 2) Avaliar o comportamento da velocidade de propagação de ondas de tensão em árvores em pé e em toras das sete espécies de *Pinus* tropicais.
- 3) Avaliar as propriedades anatômicas, químicas e físicas das sete espécies de *Pinus* tropicais.
- 4) Avaliar as propriedades mecânicas das sete espécies de *Pinus* tropicais por meio de ensaios convencionais e não destrutivos.
- 5) Avaliar a qualidade da madeira das sete espécies de *Pinus* tropicais para aplicações estruturais através de ensaios convencionais e não destrutivos.

1.4 ESTRUTURA DA TESE

O presente trabalho de tese foi estruturado em 10 capítulos, sendo apresentado a seguir um sucinto resumo sobre cada um deles.

Capítulo 1 - Importância, motivação e estrutura da tese

O primeiro e presente capítulo apresenta a importância do desenvolvimento deste projeto, o qual deu origem a esta tese de doutoramento. Nele é apresentada a necessidade do estudo de espécies de rápido crescimento, sobretudo das espécies de *Pinus* tropicais, promovendo o aumento da diversidade e do volume de matéria prima à indústria de base florestal, desenvolvimento de novos produtos e melhoria da qualidade dos produtos já existentes, bem como a importância do uso de métodos não destrutivos para a avaliação da qualidade da madeira. É apresentada também, a motivação para o seu desenvolvimento e seu principal objetivo.

Capítulo 2 – Pinus: Florestas plantadas, programas de desenvolvimento e pesquisa e descrição das espécies

O Capítulo 2 descreve o panorama florestal no Brasil. Apresenta as características da cobertura florestal e sua constituição a partir das florestas naturais e plantadas, assim como as informações referentes aos programas de desenvolvimento e pesquisas, entre eles, a Central América and México Coniferous Resources Cooperative – CAMCORE, pertencente ao Departamento de Recursos Florestais e Ambientais da Universidade do Estado da Carolina do Norte – EUA, e o Centro de Conservação Genética e Melhoramento de Pinheiros Tropicais – CCGMPT, instituído pelo Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais – IPEF.

Nele está contida também a descrição das espécies utilizadas nesta pesquisa: *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Pinus chiapensis*, *Pinus maximinoi*, *Pinus oocarpa*, *Pinus tecunumanii* e *Pinus taeda*, este último utilizado como testemunha. Esta descrição

envolve as informações relativas à origem e locais de ocorrência, características de crescimento e produtividade, propriedades tecnológicas e utilizações.

Capítulo 3 – Velocidade de propagação das ondas de tensão em árvores e toras de Pinus tropicais

O Capítulo 3 apresenta a importância e a utilização de tecnologias não destrutivas para a avaliação da qualidade da madeira em árvores em pé e toras, onde observa-se que a aplicação das ondas de tensão pode tornar-se um método bastante vantajoso para seleção ou classificação, principalmente em florestas de rápido crescimento e com múltiplos usos. Neste caso, a aplicação da tecnologia permitiria selecionar árvores ou toras, sem defeitos e com as melhores propriedades, transformando-as em material de maior valor econômico para determinados setores, resultando em elevada economia de matéria prima e processo. Este método pode ainda prever e antecipar a qualidade do produto final e permitir o aumento de rendimentos.

A técnica foi aplicada nas árvores em pé em diferentes sentidos assim como nas toras. As velocidades de propagação das ondas de tensão foram determinadas e comparadas entre si, servindo também como elemento para estabelecer correlações com as propriedades da madeira em outros capítulos.

Os resultados obtidos demonstraram que as espécies apresentam diferentes velocidades de propagação entre árvores em pé e toras, que a velocidade de propagação das ondas aumenta ao longo do fuste e que a medição da velocidade de propagação nas toras é mais precisa e com menor coeficiente de variação.

Capítulo 4 – Características de crescimento e produção volumétrica de sete espécies de Pinus tropicais

No Capítulo 4 é dada ênfase às características de crescimento e produção volumétrica das espécies de Pinus tropicais. Atualmente, a falta de informações sobre o crescimento e a produção florestal destas espécies têm sido uma das grandes limitações para a silvicultura e para o manejo destas espécies, onde muitas

destas caracterizam-se ainda como plantios experimentais. As informações geradas neste capítulo, mesmo que preliminares ao manejo florestal e também à tecnologia, irão permitir a avaliação potencial da produção nas unidades de manejo, e com isso desenvolver o aproveitamento racional e funcional da matéria prima gerada.

Por meio da técnica de análise do tronco foram quantificadas as características de altura total, diâmetro na altura do peito e volume médio ano a ano ao longo de 17 anos de crescimento. Os dados obtidos permitiram também, determinar o fator de forma, a proporção de casca e a quantidade de matéria seca das espécies estudadas.

De maneira geral, todas as espécies de *Pinus* tropicais estudadas apresentaram maior crescimento e produtividade volumétrica que o *Pinus taeda*, onde esta maior potencialidade provavelmente está associada às condições de sítio da região do plantio e às características das próprias espécies.

Capítulo 5 – Avaliação das propriedades anatômicas de sete espécies de *Pinus* tropicais

O Capítulo 5 apresenta as características anatômicas de cada espécie. A descrição anatômica, juntamente com a determinação das outras propriedades, são parâmetros muito utilizados em estudos tecnológicos, os quais visam estabelecer o potencial das diferentes espécies para as mais variadas utilizações.

Neste capítulo estão contidas as informações a respeito das características macroscópicas e organolépticas, as quais impressionam os órgãos sensitivos. Estas características foram identificadas e caracterizadas a partir da observação macroscópica da madeira e por meio de equipamento específico no caso da determinação da cor.

Neste capítulo foram ainda avaliadas as características dimensionais dos traqueóides estabelecendo-se relações entre suas dimensões e gerando informações mais precisas. Esta avaliação foi efetuada a partir da medição dos elementos celulares em microscópio, após as amostras terem passado pelo processo de maceração, desidratação e tingimento.

Todas as espécies apresentam características macroscópicas e organolépticas muito similares entre si, onde a distinção entre algumas espécies só pode ser efetuada a partir da descrição microscópica. Além disso, verificou-se que todas as espécies apresentam traqueóides com dimensões e relações entre as características dimensionais adequadas à produção de polpa celulósica e papel, gerando provavelmente, produtos com qualidade satisfatória.

Capítulo 6 – Avaliação das propriedades químicas de sete espécies de Pinus tropicais

No Capítulo 6 são apresentadas as propriedades químicas das espécies estudadas. A composição química assume elevada importância pelo fato de exercer grande influência sobre as outras propriedades, assim como sobre processos e produtos. Em muitos casos, alguns dos elementos químicos são importantes indicadores da conformidade da madeira para diversos usos industriais.

As propriedades químicas quantificadas foram o teor de extrativos, teor de lignina, teor de materiais inorgânicos e o potencial hidrogeniônico, as quais seguiram os procedimentos recomendados pelas normas ABNT e TAPPI. O teor de holocelulose foi determinado por diferença.

De maneira geral, todas as espécies apresentaram propriedades químicas compatíveis com a literatura para o gênero *Pinus*, e nenhuma delas apresentou pH excessivamente alto ou baixo.

Capítulo 7 – Avaliação das propriedades físicas de sete espécies de Pinus tropicais

O Capítulo 7 apresenta as propriedades físicas das espécies avaliadas. O conhecimento das propriedades físicas da madeira é de fundamental importância, pois está associado às diversas formas de transformação industrial, bem como às variadas formas de utilização deste material em diferentes produtos.

Neste capítulo encontram-se as informações referentes a massa específica, proporção de madeira juvenil, percentual de lenho tardio, bem como a variabilidade destas propriedades ao longo do fuste. São também apresentadas as informações relativas à retratibilidade das espécies, a qual é responsável pela diferenciada alteração dimensional nos diferentes planos anatômicos da madeira. Estas alterações juntamente com a anisotropia de contração elevada são características indesejáveis na madeira, limitando o seu uso para diversas finalidades e exigindo técnicas adequadas de processamento e utilização.

A determinação das propriedades massa específica e estabilidade dimensional seguiu os procedimentos recomendados pela norma COPANT. Já a proporção de madeira juvenil e a percentagem de lenho tardio foram determinadas pela técnica não destrutiva Windendro.

Os resultados obtidos indicam que as espécies apresentam massa específica leve, com redução ao longo do fuste, seguindo o modelo mais comum de variação proposto na literatura. Possuem ainda elevados percentuais de madeira juvenil em função da baixa idade, onde para a maioria das espécies a largura dos anéis de crescimento indicou que a madeira juvenil está concentrada até os 10 primeiros anos. Em relação à estabilidade dimensional o *Pinus chiapensis* demonstrou-ser a espécie mais instável.

Capítulo 8 – Avaliação das propriedades mecânicas de sete espécies de Pinus tropicais

No Capítulo 8 é abordada a caracterização das propriedades mecânicas das espécies de *Pinus* tropicais. O conhecimento das propriedades mecânicas é uma importante ferramenta para avaliação da qualidade da madeira e para a sua correta aplicação às mais diversas finalidades, principalmente às que requerem resistência e rigidez.

Neste capítulo foram determinadas as propriedades de flexão estática, compressão paralela às fibras, cisalhamento e dureza Janka, tanto em estado verde quanto seco a 12% de umidade, estabelecendo assim, valores de correção das propriedades, já que grande parte das utilizações da madeira não ocorre exatamente

a 12%. Foi também determinada a variabilidade destas propriedades ao longo do fuste. Todas estas características foram avaliadas de acordo com a norma COPANT.

Os resultados obtidos indicaram que as espécies apresentam boas propriedades mecânicas, e em alguns casos, superiores à espécie *Pinus taeda*, podendo ser aplicadas em diversas finalidades, como matéria prima complementar ou substituta das espécies tradicionalmente utilizadas pelas indústrias de base florestal (*Pinus taeda* e *Pinus elliottii*). As melhores propriedades mecânicas (condição verde e seca) foi encontrada a partir do *Pinus tecunumanii*. Além disso, as espécies não apresentaram grande variabilidade de propriedades mecânicas ao longo do fuste.

Ainda neste mesmo capítulo foi aplicada a metodologia não destrutiva de propagação das ondas tensão nos corpos de prova de flexão estática, obtendo-se boas correlações com o método destrutivo, e evidenciando a eficiência desta técnica, nesta condição. Já as correlações entre propriedades mecânicas e propagação das ondas de tensão nas árvores em pé e nas toras demonstraram correlações significativas e não significativas.

Capítulo 9 – Avaliação convencional e não destrutiva da madeira de sete espécies de Pinus tropicais para uso estrutural

O Capítulo 9 apresenta os resultados obtidos a partir da avaliação mecânica das espécies de Pinus tropicais em peças com dimensões estruturais e com a presença de nós. A utilização da madeira em maior escala e com maior intensidade para fins estruturais só pode ocorrer a partir do conhecimento de seu comportamento e de suas propriedades. Desta forma, neste capítulo foram conduzidos ensaios de flexão estática de acordo com a norma ASTM D-198. Foi também avaliado a influência da posição radial, da orientação dos anéis de crescimento e do ângulo de grã sobre as propriedades de resistência e rigidez.

Verificou-se que a posição radial exerce grande influência sobre as propriedades de resistência e rigidez. Já a orientação dos anéis de crescimento, assim como o ângulo de grã não constituíram fatores de acentuada influência sobre as propriedades mecânicas dos Pinus tropicais.

Neste capítulo foi avaliada ainda, a eficácia do método não destrutivo de propagação das ondas de tensão e sua relação com os resultados obtidos pelo método destrutivo. Foram obtidas boas correlações, o que indica que a referida técnica constitui uma ferramenta adicional para a classificação e predição da qualidade da madeira em peças com dimensões estruturais e com a presença de defeitos.

Capítulo 10 – Conclusões gerais e considerações finais

No Capítulo 10 são apresentadas de maneira sucinta e objetiva as principais conclusões obtidas na presente tese, assim como as considerações finais do estudo.

1.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Os resultados obtidos a partir das análises propostas foram submetidos a análise estatística onde foram efetuados os seguintes testes: Teste de Grubb's para avaliar a ocorrência de *outliers*, Teste de Shapiro Wilk's para avaliar a normalidade de dados, Teste de Bartlett para verificar a homogeneidade de variância e Análise de variância. Quando rejeitada a hipótese de igualdade, foi efetuado o Teste de comparação de médias de Tukey. Todos os testes foram efetuados no Programa *Statgraphics Centurion XV*, a 5% de probabilidade. Análises de Correlações (Pearson) foram também realizadas para avaliar as inter-relações entre as propriedades estudadas.

CAPÍTULO 2

PINUS: FLORESTAS PLANTADAS, PROGRAMAS DE DESENVOLVIMENTO E PESQUISA E DESCRIÇÃO DE ESPÉCIES

CAPÍTULO 2

PINUS: FLORESTAS PLANTADAS, PROGRAMAS DE DESENVOLVIMENTO E PESQUISA E DESCRIÇÃO DE ESPÉCIES

2.1 INTRODUÇÃO

No Brasil, as florestas plantadas de rápido crescimento constituem a principal fonte de matéria prima para a indústria de base florestal, englobando principalmente as espécies do gênero *Pinus* e *Eucalyptus*.

O gênero *Pinus* foi introduzido neste país há aproximadamente um século, no entanto, a silvicultura desta espécie foi intensificada a partir de 1966, com a lei de incentivos fiscais promovida pelo governo federal, que tinha como objetivo solucionar a escassez de matéria prima e regulamentar a exploração e o uso das florestas, que até então estava sendo conduzida de maneira desenfreada.

Assim, as principais espécies utilizadas nestes plantios se resumiam basicamente em *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, as quais apresentaram rápido crescimento, intensa reprodução e facilidade de aplicação de práticas silviculturais e de manejo, tendo suprido a necessidade de matéria prima das indústrias madeireiras que utilizam *Pinus* em seus processos até os dias atuais.

Por outro lado, estas espécies também apresentaram algumas limitações tecnológicas, dependendo da utilização final. Desta forma, outras espécies do gênero foram introduzidas, inicialmente em plantios experimentais, a fim de melhorar a qualidade dos produtos, além de aumentar a diversidade de matéria prima e o volume de madeira ao mercado.

Entre estas, encontram-se espécies de *Pinus* tropicais onde alguns testes de progênies e procedências têm revelado grande potencial produtivo em território brasileiro. Apesar da grande potencialidade, poucas são as pesquisas sobre as características e a qualidade tecnológica da madeira destas espécies. Os escassos trabalhos disponíveis, são em geral, orientados para o setor de celulose e papel,

apresentando uma lacuna com a falta de informações relativas ao processamento mecânico e utilização destas espécies em produtos de maior valor agregado.

O conhecimento das propriedades da madeira destas espécies torna-se então, uma importante ferramenta para a avaliação da qualidade e principalmente para a indicação de usos finais adequados, gerando com isso maior valor econômico, maior sustentabilidade, além de reduzir e possivelmente até eliminar o conceito errôneo sobre má qualidade da madeira produzida por este gênero.

2.1.1 Objetivo geral

Apresentar informações relativas às florestas plantadas de *Pinus*, importância, programas de desenvolvimento e pesquisa e descrição das espécies utilizadas neste trabalho.

2.2 REVISÃO DE LITERATURA

2.2.1 Panorama florestal no Brasil

A cobertura florestal brasileira é formada por florestas naturais e florestas plantadas, abrangendo aproximadamente 545 milhões de ha, o que equivale a 2/3 do território nacional. Predominam as florestas naturais localizadas na região Amazônica (florestas tropicais), as quais cobrem quase 539 milhões de ha (ABIMCI, 2009), enquanto as florestas plantadas somam em torno de 6,5 milhões de ha (ABRAF, 2011).

A importância do setor florestal está relacionada à sua grande participação na economia brasileira, gerando produtos para consumo interno ou para exportação, criando impostos e empregos para a população e, ainda, atuando na conservação e preservação dos recursos naturais (ABIMCI, 2009), principalmente a partir de florestas plantadas de rápido crescimento.

A área de florestas plantadas vem aumentando a cada dia, em virtude das pressões ambientais exercidas sobre as florestas nativas, e também pelo elevado volume consumido pelas indústrias de base florestal. Zenid (2009) complementa que as florestas plantadas oferecem diversas vantagens sobre as florestas nativas, dentre as quais destacam-se a alta produção por unidade de área, a flexibilização dos plantios florestais, a possibilidade de pré-determinação dos rendimentos e a homogeneização da matéria prima.

As primeiras florestas plantadas foram implantadas no início do século XX, porém, a atividade se intensificou na década de 60, mais precisamente em 1966 com os incentivos fiscais oferecidos pelo governo federal, a fim de solucionar o problema de falta de matéria prima para a indústria de base florestal, além de diminuir e regulamentar a exploração florestal (MATOS, 1997). Segundo este mesmo autor, o resultado desta iniciativa foi a imediata ampliação da área de florestas plantadas especialmente com exóticas, entre elas o *Pinus*.

2.2.1.1 Florestas plantadas de *Pinus*

De acordo com a ABRAF (2011) a área ocupada por plantios florestais de *Pinus* e *Eucalyptus* no Brasil totaliza 6.510.693 ha sendo 73,0% correspondente à área de plantios de *Eucalyptus* e 27,0% a plantios de *Pinus* (FIGURA 2.1).

A maior concentração de plantios florestais destes dois gêneros ocorre nas regiões Sul e Sudeste do país (ZENID, 2009), com cerca de 75,2%, onde também estão localizadas as principais unidades industriais dos segmentos de celulose, papel, painéis de madeira, madeira serrada e siderurgia a carvão vegetal (ABRAF, 2011).

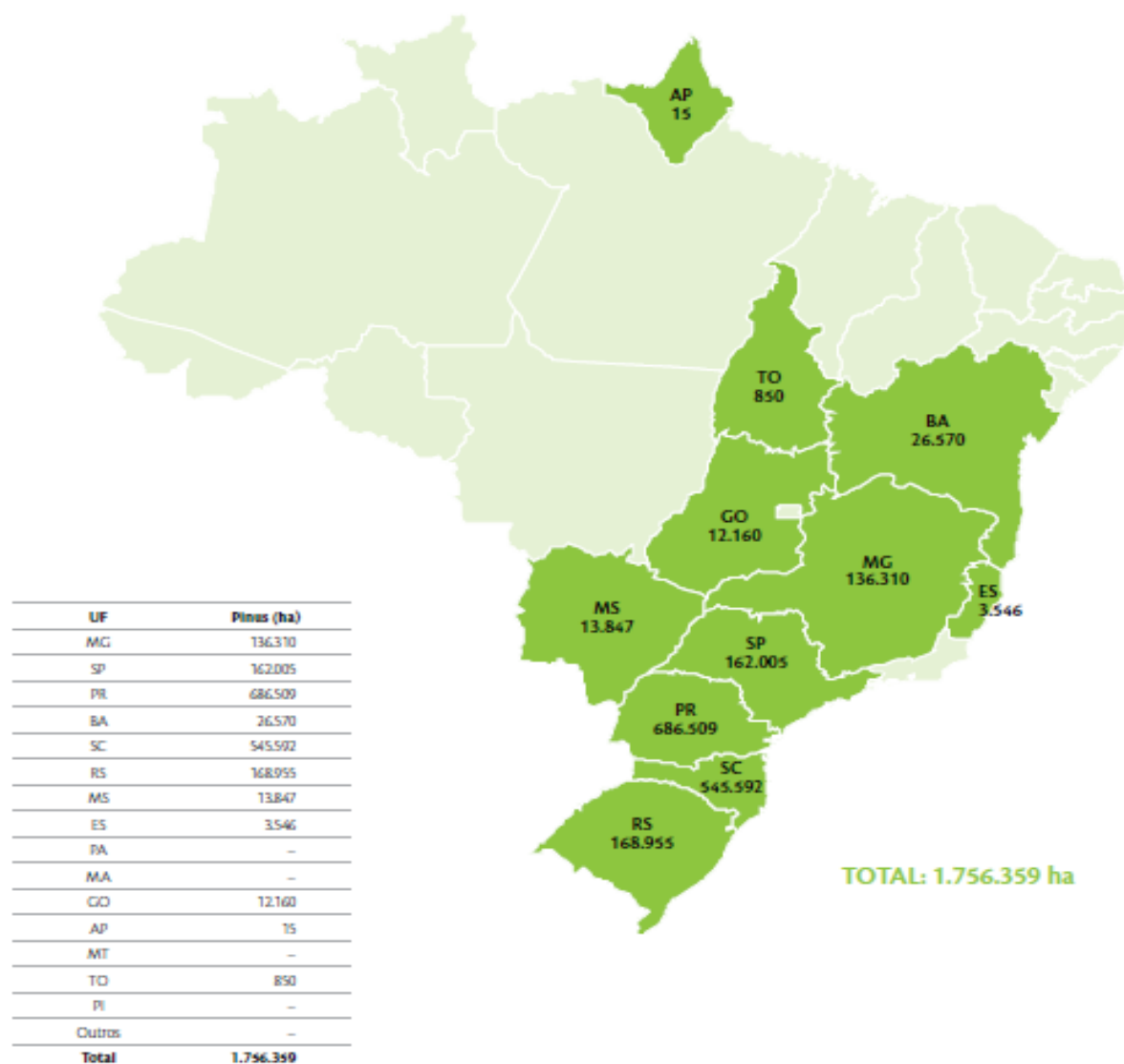


FIGURA 2.1 – DISTRIBUIÇÃO DAS FLORESTAS PLANTADAS DE *Pinus* NO BRASIL

Fonte: ABRAF (2011)

Considerando as florestas de *Pinus*, as espécies que mais se destacam são o *Pinus elliottii* e o *Pinus taeda*, devido a facilidade de tratos silviculturais, rápido crescimento e reprodução intensa (SHIMIZU, 2005), no entanto, algumas limitações tecnológicas apresentadas por estas duas espécies e a magnitude deste pólo florestal justificaram a pesquisas e programas de desenvolvimento com outras espécies deste gênero.

De acordo com Paiva (2009), quando se pretende introduzir novas espécies, torna-se necessário fazer testes, para verificar a adaptação das mesmas ao ambiente. Segundo este mesmo autor, a adaptação da espécie ao clima do local de plantio é de fundamental importância, pois mesmo conhecendo a potencialidade da espécie para determinado fim, sua adaptação às condições climáticas do local determinará o sucesso ou o insucesso do empreendimento. Zenid (2009) complementa que introdução de novas espécies no mercado é um trabalho lento, que exige o conhecimento e divulgação de suas características de comportamento e uso, e o suprimento assegurado em níveis de qualidade comparáveis com o uso pretendido.

Neste contexto, ressalta-se a importância de parcerias entre institutos de pesquisas e convênios com empresas florestais, as quais objetivam pesquisas com novas espécies visando melhor adaptabilidade, maior potencial de crescimento e qualidade da madeira, em diversas regiões do mundo. Entre os diversos institutos de pesquisas vale mencionar a Central América and México Coniferous Resources Cooperative - CAMCORE e o Centro de Conservação Genética e Melhoramento de Pinheiros Tropicais – CCGMPT, os quais são descritos brevemente a seguir.

2.2.2 Programas de desenvolvimento e pesquisa

2.2.2.1 Central América and México Coniferous Resources Cooperative – CAMCORE

A CAMCORE, Central América and México Coniferous Resources Cooperative foi criada em 1980, e faz parte do Departamento de Recursos Florestais e Ambientais da Universidade do Estado da Carolina do Norte – EUA.

É uma organização internacional sem fins lucrativos, que tem como objetivo promover a conservação de recursos genéticos *in situ* e *ex situ* de espécies florestais nativas da América Central e do México. Para atender este objetivo, esta cooperativa estabeleceu os seguintes objetivos específicos:

- Conservar espécies florestais e populações;
- Identificar espécies e procedências ameaçadas;
- Coletar sementes das populações vulneráveis;
- Avaliar a diversidade genética para melhorar os métodos *in situ*;
- Distribuir sementes destas populações e avaliar a adaptabilidade e o crescimento em diversas condições ambientais nos trópicos e subtropicais;
- Desenvolver programas de melhoramento para as espécies que demonstrarem maior potencial;
- Desenvolver programas a longo prazo para garantir a sustentabilidade dos recursos.

De acordo com a CAMCORE (2012), o setor privado em colaboração com agências governamentais e universidades, pode fazer contribuições substanciais para a gestão ambiental e conservação, proporcionando economicamente boa gestão das florestas.

Atualmente, o programa está conduzindo pesquisas com 38 espécies florestais a partir de 11.000 árvores amostradas em 500 localidades, além de possuir mais de 2.500 ha de bancos de conservação e ensaios de campo. Esta organização detém o maior banco de dados de pinheiros tropicais e subtropicais do mundo (CAMCORE, 2012).

Fazem parte da CAMCORE: Argentina, Chile, Colômbia, Guatemala, Indonésia, México, Moçambique, Estados Unidos da América, África do Sul, Venezuela, Uruguai e Brasil. No Brasil, várias empresas florestais participam desta cooperativa, tendo testes de progênies e procedências implantados em suas áreas.

Uma destas empresas é a Valor Florestal Gestão de Ativos Florestais Ltda, localizada em Jaguariaíva, a qual possui plantios de várias espécies de Pinus tropicais e que concedeu o uso destes plantios em convênio com a Universidade

Federal do Paraná, para pesquisas de avaliação destas espécies, sendo esta tese de doutoramento, um dos frutos deste convênio.

2.2.2.2 Centro de Conservação Genética e Melhoramento de Pinheiros Tropicais – CCGMPT

O Centro de Conservação Genética e Melhoramento de Pinheiros Tropicais (CCGMPT) surgiu face a importância do *Pinus caribaea* na silvicultura brasileira e à falta de uma política de preservação das populações nas regiões de ocorrência natural. O desenvolvimento deste centro teve início devido à dificuldade de importação de sementes desta espécie em quantidade e qualidade adequadas, a qual foi se agravando com o decorrer dos anos, em função da expansão da área plantada e da exigência de um material produtivo. Neste sentido, o Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP e o Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais - IPEF iniciaram diversos estudos com o intuito de contornar tal situação (SANTOS; MARTINI; SANTOS, 1988).

Assim, em 1977, o Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais - IPEF, em convênio com as empresas Freudenberg Agro-Florestal Ltda e a Companhia Aracruz Florestal, estabeleceu as bases para a criação do CCGMPT (SANTOS; MARTINI; SANTOS, 1988).

O Centro, instalado em Aracruz - ES, teve sua etapa inicial concluída em 1984, com a formação de um banco clonal de 50 ha para cada variedade (*bahamensis*, *caribaea* e *hondurensis*). Com o início da produção de sementes, foram sendo instalados os testes de progênies em diversas regiões do Brasil (SANTOS; MARTINI; SANTOS, 1988).

Um dos testes foi instalado na Região de Itararé – SP, vinculado a Valor Florestal Gestão de Ativos Florestais Ltda, do qual fazem parte as variedades *bahamensis* e *caribaea*, utilizadas nesta pesquisa.

2.2.3 Descrição de espécies do gênero *Pinus*

Muitas são as espécies que compõem o gênero *Pinus*, o qual engloba inúmeras espécies, onde a maioria delas representa uma importante fonte de matéria prima para a indústria de base florestal. Segundo Walker (1983), as espécies de *Pinus* têm sido extensivamente estudadas por muitos pesquisadores em todo mundo.

A seguir são apresentadas as características de origem, de crescimento e tecnológicas de algumas espécies de *Pinus*, mais especificamente, as espécies utilizadas no presente trabalho.

2.2.3.1 *Pinus caribaea*

O *Pinus caribaea* compreende três variedades, sendo elas, *bahamensis*, *caribaea* e *hondurensis* (SUASSUNA, 1977; PINTO JR; KAGEYAMA; JACOB, 1979; ANORUO, 1993; ZHENG; ENNOS; WANG, 1994; FREITAS *et al.*, 2005; SEBBENN; VILLAS BÔAS; MAX, 2008; FOELKEL, 2008; SEBBENN, *et al.*, 2010; SHIMIZU, 2008). Estas variedades apresentam diferentes características morfológicas e diferentes regiões de origem, onde alguns taxonomistas questionam o agrupamento destas variedades, descrevendo-as como espécies distintas.

Todas as variedades de *Pinus caribaea* possuem grande potencial à plantios florestais em zonas quentes e livres de geada, sendo extensivamente estudadas em diversas regiões do mundo, com objetivo de melhorar a qualidade da madeira e otimizar a sua produção (SBS, 2007; FOELKEL, 2008).

No Brasil, o *Pinus caribaea* têm sido plantado com sucesso (SEBBENN *et al.*, 2008) apresentando boa adaptação, rápido crescimento, boa forma do fuste e alta produção de resina, principalmente nas regiões quentes e com déficit hídrico (GIBSON, 1987).

2.2.3.1.1 *Pinus caribaea* var. *bahamensis* Barr. & Golf.

O *Pinus caribaea* var. *bahamensis* Barr. & Golf., tem sua origem nas Ilhas das Bahamas (BARRET; GOLFARI, 1962; GREEN, 2011), ocorrendo em áreas separadas e distantes entre si. O primeiro local de ocorrência engloba as Ilhas localizadas entre 23° a 27° de latitude Norte e o segundo entre as ilhas situadas a 21° e 22° latitude Norte. As altitudes nestes dois locais variam desde o nível do mar até 30 m. O clima é tropical com temperatura média de 25°C. A precipitação anual é de 700 mm a 1300 mm com um período de seca em torno de 6 meses. O pH dos solos varia de 7,5 a 8,5 (BARRET; GOLFARI, 1962; GURGEL GARRIDO; ROMANELLI; GARRIDO, 1996).

Mesmo sendo originária de locais próximos ao nível do mar, esta espécie tem apresentado bom crescimento no Brasil, tanto ao nível do mar quanto no planalto (SHIMIZU, 2008). Quando plantada em condições favoráveis ao rápido crescimento, é altamente propensa a produzir um padrão de crescimento apical acentuado e sem ramificação, gerando alta frequência de árvores com forma anormal, também denominado de "*fox-tail*" (SHIMIZU, 2008; FOELKEL, 2008), podendo prejudicar a qualidade da madeira dependendo do seu uso (FOELKEL, 2008). Outro fator que corrobora para a ocorrência deste padrão de crescimento são regiões com alto índice de precipitação pluviométrica (SHIMIZU, 2008).

No Brasil, o *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, representa uma das espécies de maior importância para a produção de madeira em regiões tropicais (MISSIO; MORAES; DIAS, 2007; FLORSHEIM, 2010) e resina (GURGEL GARRIDO; ROMANELLI; GARRIDO, 1996, MISSIO; MORAES; DIAS, 2007), com altos incrementos volumétricos (FLORSHEIM, 2010).

Shimizu (2008) complementa que esta espécie pode ser plantada em toda a região tropical brasileira, podendo se estender, inclusive, para a Região Sul, onde o frio é mais intenso, porém desde que as geadas não sejam severas.

Segundo Green (2011) pode atingir até 30 m de altura. Ensaio internacionais de introdução e adaptação de procedências demonstram diferentes resultados para o crescimento desta espécie, conforme relacionado a seguir.

Barnes *et al.* (1977) avaliando árvores de diferentes procedências e diferentes sítios aos seis anos de idade na Rodésia, obtiveram valores para o DAP de 10,36 cm a 10,83 cm e, Francis (1989) apresentou para árvores localizadas em Porto Rico, com 23 anos, altura média de 19,60 m e DAP de 25,50 cm.

Zheng, Ennos e Wang (1994) avaliando parâmetros genéticos de diversas procedências do *Pinus caribaea* var. *bahamensis* na China, obtiveram para árvores de 2,5 anos, altura média de 3,36 m e DAP médio de 5,30 cm.

Capitani *et al.* (1980) avaliando a potencialidade de resinagem em *Pinus* tropicais na região de Sacramento – MG, obtiveram para o *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, altura média de 10,65 m e DAP de 17,20 cm para árvores com 6,4 anos.

Já experimentos conduzidos por Moura, Parca e Silva (1991), demonstraram que procedências de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* implantadas na região dos cerrados não apresentaram boa adaptação neste tipo de clima, onde, avaliando o comportamento de procedências em 3 locais, obtiveram para indivíduos de 12 anos, altura média de 13,60 m e DAP de 13,20 cm. Segundo estes autores, entre as espécies avaliadas o *P. caribaea* var. *bahamensis* foi a de menor crescimento e a altitude do local de plantio influenciou marcadamente as médias da massa específica básica.

Missio *et al.* (2004a) em estudo de seleção genética obtiveram para progênies de 13 anos localizadas no Mato Grosso do Sul, altura média de 18,85 m, DAP médio de 20,63 cm e volume por árvore de 0,547 m³.

Sebbenn *et al.* (2010) avaliando parâmetros genéticos em experimentos com 13 anos de idade em Assis - SP, obtiveram altura total média de 20,12 m e DAP de 22,96 cm. Para indivíduos com 20 anos, na mesma região, Sebbenn, Villas Bôas e Max (2008) obtiveram altura média de 21,02 m, DAP médio de 28,39 cm e volume por árvore de 0,664 m³. Com o mesmo objetivo, no entanto em experimento com 22 anos em Bebedouro- SP, Freitas *et al.* (2005) encontraram 22,15 m e 25,08 cm, para altura total e DAP, respectivamente.

Florsheim (2010) avaliando as propriedades da madeira de *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, obteve para árvores de 16 e 30 anos provenientes de Manduri -

SP, DAP médio de 25,38 cm e 44,95 cm, e altura média de 20,11 m e 25,97 m, respectivamente.

Considerando o melhoramento genético, estudos efetuados com a espécie demonstram que a mesma apresenta potencial para o melhoramento de diversos caracteres de valor econômico, entre eles, caracteres de crescimento, forma do fuste, produção de resina e principalmente volume (FREITAS *et al.*, 2005). Missio *et al.* (2004b) após desenvolvimento de estudos nesta linha de pesquisa corroboram a informação anterior, relatando que progênies de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* apresentam variação genética, o que permite dar continuidade ao programa de melhoramento. Embora o melhoramento genético desta variedade apresente resultados positivos, Shimizu (2008), relata que um dos principais obstáculos para sua ampla difusão nos plantios comerciais é a dificuldade na produção de sementes.

Em relação à qualidade da madeira, poucos estudos foram desenvolvidos, tornando ainda mais necessário, pesquisas na área tecnológica. Shimizu (2008) em uma abordagem geral relata que a madeira desta espécie tende a ser mais densa e, portanto, de melhor qualidade física e mecânica quando comparada com a variedade *hondurensis*.

Considerando as propriedades anatômicas, a espécie apresenta como características macroscópicas cerne e alburno distinto, coloração branco palha ou amarelo levemente alaranjado, grã direita, brilho moderado, textura fina a média, anéis de crescimento distintos. Microscopicamente, traqueóides com comprimento médio de 5,68 mm, diâmetro médio de 65,63 μm e espessura de parede de 7,79 μm , e lenho tardio variando entre 3,67% a 53,76% (FLORSHEIM, 2010). Em povoamentos naturais de 30 a 50 anos foram encontrados traqueóides com comprimento médio 2,70 mm, diâmetro de traqueóides de 41,00 μm e espessura de parede de 7,50 μm (PALMER; GIBBS, 1970¹ citados por PLUMPTRE, 1984).

Em relação às propriedades químicas, apresenta extrativos de aproximadamente 5,10%, teor de lignina de 33,60% e holocelulose de 64,70% (BRITO; NUCCI, 1984).

¹ PALMER, E.R.; GIBBS, J.A. The pulping characteristics of nine years old *Pinus caribaea* from Sabah. Report, Tropical Products Institute, n.25, 1970. 37 p.

Para a propriedade de massa específica básica, a literatura apresenta diferentes valores: 0,352 g/cm³ a 0,371 g/cm³ (BARNES *et al.*, 1977); 0,362 a 0,399 g/cm³ (AMARAL, FERREIRA; COUTO, 1977); 0,335 g/cm³ (BRITO; NUCCI, 1984); 0,350 e 0,480 g/cm³ (BRITO, 1985), 0,340 g/cm³ (WRIGHT; GIBSON; BARNES, 1986), 0,407 g/cm³ (MOURA; PARÇA; SILVA, 1991); 0,458 g/cm³ e 0,487 g/cm³ (MISSIO, 2004); 0,457 g/cm³ (MARTINS, 2007) e 0,386 g/cm³ a 0,760 g/cm³ (FLORSHEIM, 2010).

Em relação às propriedades mecânicas, Martins (2007) descreve para compressão paralela, módulo de elasticidade de 8.325 MPa e resistência de 22,8 MPa e cisalhamento de 3,40 MPa, para amostras com teor de umidade acima de 20%. Florsheim (2010) em ensaio de flexão estática, obteve valores entre 19,01 MPa a 113,74 MPa e 13,57 a 110,68 MPa para módulo de ruptura e 934,00 MPa a 21.286,40 MPa e 1.917,50 MPa a 23.852,70 MPa para módulo de elasticidade, para plantios com 16 e 30 anos respectivamente. Longsdon e Calil Junior (2002) apresentam valores de aproximadamente 15 MPa e 30 MPa e 5.000 MPa e 7.000 MPa para módulo de ruptura e elasticidade, ambos referentes à compressão paralela nas condições verde e a 12% e cisalhamento de 4,5 MPa e 8,0 MPa para condições verde e seca, respectivamente.

Em termos de aplicação, a madeira produzida por esta espécie pode ser utilizada para a produção de madeira serrada, laminados, painéis compensados e Medium Density Particleboard - MDF (IWAKIRI *et al.*, 2010). Segundo este mesmo autor, para painéis aglomerados a espécie apresenta resultados superiores ao *Pinus caribaea* var. *caribaea*. Outra utilização, diz respeito a potencialidade de uso da casca como fonte de tanino, a qual apresenta boas propriedades de colagem (CARVALHO, 2010). Gurgel Garrido, Romanelli e Garrido (1996), mencionam ainda a utilização desta espécie como matéria prima para indústria de celulose e extração de resina, onde Capitani *et al.* (1980) afirmam que entre as espécies *P. elliottii* var. *densa*, *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. oocarpa*, esta é a maior produtora de resina.

A Figura 2.2 apresenta algumas características inerentes a espécie *Pinus caribaea* var. *bahamensis*.



FIGURA 2.2 – CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE *Pinus caribaea* var. *bahamensis*

a) Plantio em Itararé – SP (MATOS, 2006); b) Copa (GREEN, 2011); c) Árvores e cones (DENDROPRESS, 2012); d) Acículas infestadas (ROYAL BOTANIC GARDENS, 2012); e, f, g) Fotos macroscópicas nos planos tangencial, tangencial e radial (TRIANOSKI, 2011); h, i, j) Fotomicrografia nos planos transversal, tangencial e radial (FLORSHEIM, 2010).

2.2.3.1.2 *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea*

O *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* é outra variedade da espécie *Pinus caribaea*. É uma importante conífera tropical, bastante utilizada em plantios florestais na região de ocorrência natural, e como exótica em áreas tropicais e subtropicais no mundo todo (ZHENG; ENNOS, 1999).

De procedência cubana, sua distribuição ocorre de 12°13' N a 27°25' N (Nicarágua às Ilhas Bahamas) e longitude de 71°40' O a 89°25' O e altitudes de 0 a 280 m. Nestas regiões a precipitação anual varia de 750 a 1300 mm com seis meses de inverno seco, e o clima é tropical com temperatura média em torno de 25°C (FRANCIS, 1992; WANG; MALCOLM; FLETCHER, 1999; ZHENG; ENNOS, 1999).

Segundo Francis (1992) cresce de maneira natural em baixas altitudes, produzindo madeira com elevado teor de resina. Possui tolerância a solos com pouca fertilidade, pH de 7,5 a 8,5 e topografia moderada. (FRANCIS, 1992; WANG; MALCOLM; FLETCHER, 1999; ZHENG; ENNOS, 1999), no entanto, apresenta melhor índice de crescimento em zonas livres de geada e com altitude de até 700 m, solos férteis com boa drenagem e precipitação anual de 1.000 a 3.000 mm (HERAS, BONILLA; MARTÍNEZ, 2006).

No Brasil, as condições ecológicas de desenvolvimento requeridas por esta espécie são as condições encontradas na Região tropical. Silva (2005) complementa a boa adaptação desta espécie em território brasileiro, recomendando o seu uso em plantios comerciais na região de Selviria - MS.

O crescimento desta variedade é mais lento quando comparado às outras duas, *bahamensis* e *hondurensis*. De acordo com Pimentel (2000), o *Pinus caribaea* var. *caribaea* é aquela que, dentre os *Pinus*, apresenta menor incremento anual, porém, é a que se mostra mais adequada para o processamento mecânico, por apresentar fuste reto e galhos finos e curtos. Shimizu (2008) corrobora afirmando que a forma do fuste é exemplar além de apresentar frequência baixa ou nula de "fox-tail".

Francis (2008) complementa as informações correlatas ao crescimento, mencionando que o índice de incremento anual desta variedade em povoamentos naturais é extremamente baixo, com cerca de 1,4 m³/ha.ano. Este baixo índice pode

ser explicado pelo fato de que os povoamentos naturais são compostos por árvores velhas, que passaram por muitos anos de supressão e crescimento lento. Já nas florestas plantadas, o rendimento é maior em virtude da menor idade, densidade e do sítio.

Em relação às características de crescimento, Quintana, Brito e Nolazco (2007), descrevem após avaliação de ensaio de procedências em Cuba com 5 anos de idade, que o povoamento apresentou altura média de 2,45 m e DAP de 5,04 cm. Já Francis (1989) avaliando árvores de 4,8 anos, também em Cuba, obteve altura média de 4,10 m. Para indivíduos com 23 anos, crescendo em Porto Rico, Francis (1989), obteve valores médios para a altura de 21,60 m e DAP de 29,30 cm. Barnes *et al.* (1977) avaliando procedências de *Pinus caribaea* na Rodésia obtiveram para árvores de 6 anos, diâmetro médio de 10,40 cm.

Silva (2005) em estimativas dos parâmetros genéticos em progênies localizadas em Selvíria -MS, obteve para indivíduos de 14,30 anos altura média variando entre 18,35 e 19,95 m, DAP médio entre 21,07 cm a 24,85 cm e volume médio por árvore entre 0,448 m³ e 0,697 m³. Para indivíduos com 16,3 anos, esta autora obteve altura média de 20,77 m, DAP de 26,11 cm e volume por árvore de 0,803 m³.

A respeito do melhoramento da espécie, Quintana, Brito e Nolazco (2007) afirmam que esta variedade apresenta excelentes resultados nos programas de melhoramento genético, o que representa um patrimônio genético de valor incalculável.

Em relação às características tecnológicas da madeira, esta variedade é de fácil trabalhabilidade, no entanto, a presença de resina em quantidades elevadas promove a necessidade constante de manutenção e limpeza dos equipamentos e das ferramentas de corte (CHUDNOFF, 1984). Segundo este mesmo autor, o conteúdo de resina na variedade indica a durabilidade e resistência da madeira ao ataque de insetos, sendo o cerne moderadamente durável e resistente.

Anatomicamente, apresenta comprimento médio de traqueóides de 3,11 mm a 3,60 mm, diâmetro de 44,70 µm a 52,00 µm e espessura de parede de 5,04 µm a 6,74 µm (PALMER; GIBBS, 1975², citados por PLUMPTRE, 1984).

² PALMER, E.R.; GIBBS, J.A. The pulping characteristics of two samples of *Pinus caribaea* var. *caribaea* from Cuba. Report Tropical Products Institute, n.41, 1975, 25 p.

Em termos de composição química, Godoy *et al.* (2007) avaliando o teor de lignina nesta espécie, obtiveram a partir de 3 sítios em Cuba, valor médio de 27,13%.

Para a massa específica, a literatura apresenta valores de 0,350 g/cm³ (BARNES *et al.* 1977), 0,361 g/cm³ (AMARAL; FERREIRA; COUTO, 1977), 0,339 g/cm³ a 0,530 g/cm³ (PLUMPTRE, 1984), 0,368 g/cm³ (WRIGHT; GIBSON; BARNES, 1986), 0,485 g/cm³ a 0,529 g/cm³ (SILVA, 2005), 0,546 g/cm³ (BANKS, 1977) e 0,300 g/cm³ até 1,000 g/cm³ em material saturado de resina (FRANCIS, 2008).

Em relação à estabilidade dimensional, apresenta contração tangencial de 6,70%, contração radial de 3,20% e contração volumétrica de 10,30% (BANKS, 1977).

Considerando as propriedades mecânicas, a variedade é considerada de média resistência. Apresenta módulo de ruptura a flexão estática de 85,30 MPa e módulo de elasticidade de 9.162 MPa, resistência a compressão de 41,40 MPa, dureza de 3.433 N nas faces laterais e 4.120 N na face longitudinal e cisalhamento de 11,10 MPa (BANKS, 1977).

No que diz respeito às aplicações, Wang, Malcolm e Fletcher (1999) relatam que as espécies de *Pinus caribaea* apresentam excelentes qualidades a serem exploradas, para diversos usos. Assim a literatura prevê as seguintes utilizações para a variedade *caribaea*: madeira serrada e produção de papel (FRANCIS, 1992), construções rurais e de navios, produtos laminados, móveis, dormentes e celulose (CHUDNOFF, 1984), painéis de partículas (IWAKIRI *et al.*, 2010) e produção de tanino a partir da casca (ALMEIDA, 2006).

A Figura 2.3 demonstra algumas características da espécie *Pinus caribaea* var. *caribaea*.



FIGURA 2.3 – CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE *Pinus caribaea* var. *caribaea*

a) Plantio em Itararé – SP (MATOS, 2006); b) Plantio CONIFERS, 2012); c) Plantios em regiões montanhosas (CONIFERS, 2012); d) Regeneração natural em Pinar del Río – Cuba (CONIFERS, 2012); e) Acículas (CONIFERS, 2012); f) Casca (CONIFERS, 2012); g, h, i) Fotos macroscópicas nos planos transversal, tangencial e radial (TRIANOSKI, 2011).

2.2.3.1.3 *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. & Golf.

O *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. & Golf., juntamente com as variedades *bahamensis* e *caribaea*, são as principais variedades de *Pinus* tropicais cultivadas no Brasil (MORAES *et al.* 2007), com uma área superior a 700.000 ha (FOELKEL, 2008). É também a espécie de *Pinus* tropical mais plantada no mundo (SHIMIZU, 2008), com ampla introdução em vários países, como Austrália, África e Ásia (JOHNSTON *et al.*, 2003). De acordo com Suassuna, (1977), entre as três variedades, é a que produz maior volume de madeira, devendo esta característica ser levada em conta em função do propósito do plantio. Por outro lado, é variedade que apresenta a maior ocorrência de “fox tail” (EMBRAPA, 1986).

A distribuição natural do *Pinus caribaea* var. *hondurensis* ocorre em Belize, Guatemala, Honduras, Nicarágua e México (KLOCK, 1989; FREITAS *et al.*, 2005). Segundo a CAMCORE (1996) novas áreas de ocorrência natural têm sido localizadas em El Salvador.

É encontrada em altitudes que variam desde o nível do mar até 500 m de altitude, podendo chegar, em alguns locais, a 1.000 m (HODGE; DVORAK, 2001; SHIMIZU, 2008). Esta variação de altitude propicia a geração de variabilidade genética ligada à adaptação às condições ecológicas, onde, entre as variações geográficas mais importantes estão as procedências litorâneas e as das montanhas (SHIMIZU, 2008).

Em relação às condições edafoclimáticas, na região de ocorrência natural a precipitação média anual varia de 1.000 mm até 4.000 mm dependendo da região, podendo ocorrer, períodos de seca de até 6 meses (GOLFARI, 1991). Possui intolerância a geada, e segundo a EMBRAPA (1986), a sensibilidade ao frio é condição limitante para a espécie, onde em sua área de ocorrência natural a temperatura mínima raramente alcança 5° C. Greaves (1983)³ citado por Sampaio (1996) complementa a pouca tolerância ao frio manifestada por esta espécie, relatando que a temperatura média anual no seu habitat varia de 21° a 27° C,

³ GREAVES, A. Review of *Pinus caribaea* Mor and *Pinus oocarpa* Scheide international provenance trials, Commonwealth Forestry Institute, Oxford, 1980, 89p.

sendo que nos meses mais quentes a temperatura média varia entre 29° e 34° C e nos meses mais frios de 15° a 23° C.

Ao contrário das outras duas variedades, o sucesso comercial desta variedade ocorre principalmente pela disponibilidade de sementes, e também ao seu bom desenvolvimento em solos pobres, e à elevada qualidade de sua madeira amplamente utilizada em diversas aplicações (MORAES *et al.*, 2007).

Em relação ao crescimento, esta espécie pode atingir até 45 m de altura e 135 cm de DAP, com tronco reto, bem formado e sem excesso de ramificações (SHIMIZU; SEBBENN, 2008). No entanto, segundo estes mesmos autores, apresenta como característica marcante a presença de *fox-tail*, a qual está sob controle genético e pode ser reduzida mediante seleção. A coloração da casca em árvores jovens é predominantemente cinza e quando adulta há também presença de tonalidades de cinza escuro a tons avermelhados (FOELKEL, 2008).

Em continuidade as características de crescimento, Barnes *et al.* (1977) avaliando procedências de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e qualidade de sítios na Rodésia, obteve diâmetro médio no intervalo de 11,80 cm a 12,51 cm.

Barrichelo (1979) estudando a qualidade da madeira desta espécie para a produção de celulose Kraft, obteve para árvores de 16 anos plantadas na região de Agudos - SP, altura média de 19,07 m e DAP médio de 22,87 cm. Já Capitani *et al.* (1980) obtiveram para árvores provenientes da região de Sacramento – MG, com idade de 7,6 anos, altura média de 11,73 m e DAP de 18,90 cm.

Montagna *et al.* (1983) avaliando *Pinus caribaea* var. *hondurensis* aos 17 anos em Mogi-Mirim – SP, obtiveram para plantio com diversos espaçamentos, altura média de 20 m e diâmetro médio de 17 cm, e, Klock (1989) em análise da qualidade da madeira na região de Agudos – SP, a partir de diferentes idades, obteve diâmetro médio de 26,30 cm e 34,90 cm e altura comercial média de 20,94 m e 29,12 m para árvores de 14 e 20 anos, respectivamente.

Moura, Parca e Silva (1991) em avaliação do comportamento de *Pinus* centro-americanos aos 12 anos em três regiões dos cerrados, obtiveram altura média no intervalo de variação de 16,00 a 17,40 m e DAP variando entre 15,60 cm a 16,80 cm.

Sampaio (1996) em estudo da variação genética em progênies de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com 5 anos, instaladas em Tibagi – PR, obteve altura média entre 6,20 m e 8,70 m, DAP médio entre 10,40 cm e 18,40 cm e volume médio por árvore no intervalo de variação de 0,022 m³ a 0,097 m³.

Moura e Dvorak (2001) em ensaio de procedências em Planaltina – DF, obtiveram para experimento de 12 anos, altura média entre 16,00 m e 17,70 m e DAP entre 20,40 cm a 23,40 cm. Para estas mesmas procedências, o volume médio por árvore foi de 0,210 m³ a 0,300 m³. Já Moraes (2001) avaliando experimento em Selvíria – MS obteve para árvores de 12 anos, DAP médio de 22,21 cm.

Mendes (2001) avaliando a potencialidade desta espécie para a produção de painéis de partículas orientadas – OSB, encontrou para árvores de 11 anos na região de Ventania – PR, altura média de 18,88 m, DAP de 34,64 cm e volume de 0,53 m³.

Sansígolo e Barreiros (2004) pesquisando a qualidade da madeira desta espécie para produção de celulose *Kraft*, obtiveram para plantios de 21 anos, altura comercial média de 19,40 m e DAP médio de 22,80 cm.

Moraes *et al.* (2007), analisando o efeito do desbaste seletivo em plantios em Agudos - SP, encontraram para indivíduos de 12, 13 e 14 anos, altura média entre 18,64 m a 23,20 m, DAP entre 19,32 cm e 25,04 cm e volume médio por árvore de 0,385 m³ a 0,750 m³. Serpe e Watzlawick (2009) em estudo do desempenho diamétrico em árvores de 4 anos no Oeste do Paraná, determinaram para esta idade, altura média de 8,69 m e incremento diamétrico anual de 2,17 cm.

Sebbenn *et al.* (2010) avaliando parâmetros genéticos e ganhos na seleção para caracteres de crescimentos, obtiveram a partir de experimento de 13 anos em Assis – SP, altura média de 20,97 m e DAP de 23,58 cm. Neste mesmo estudo os indivíduos testemunhas apresentaram 18,71 m e 21,75 cm para altura e DAP respectivamente, sendo considerado o crescimento médio como substancial.

Considerando as regiões para plantio, Golfari (1967) menciona que a região recomendada engloba desde a Região Norte do Estado de São Paulo até a Amazônia. Sebbenn *et al.* (2010) reforçam o reflorestamento desta espécie, afirmando que a Região de Assis em São Paulo possui alto potencial. Shimizu (2008) complementa que no Sudeste do Brasil, cujas regiões estão propensas a

ventanias, procedências litorâneas são as recomendadas, por permanecerem ilesas após esta intempérie climática. Segundo este autor, isso é justificado pelo fato de que material genético selecionado nestas regiões, por localizarem em áreas castigadas por furacões e tempestades tropicais, adquiriram ao longo dos anos maior resistência aos ventos e menor propensão a quebra do fuste.

Considerando a características da madeira, esta espécie possui cerne e albarno indistintos, coloração branco-amarelado, anéis de crescimento distintos com transição abrupta entre o lenho inicial e tardio (CASTRO, 2011).

Em relação às dimensões dos elementos celulares, apresenta comprimento de traqueóides de 2,40 mm a 5,10 mm, largura de 37,30 μm a 50,10 μm e espessura de parede no intervalo de 6,10 μm a 13,40 μm (BARRICHELO; BRITO, 1979). Montagna *et al.* (1983), avaliando as mesmas características, obtiveram comprimento de 3,95 mm, largura de 59,05 μm e espessura de 7,00 μm . Sansígolo e Barreiros (2004) encontraram comprimento de 2,88 mm, largura de 47,29 μm e espessura de 5,88 μm .

Em relação a massa específica a literatura disponibiliza os seguintes resultados: 0,356 g/cm^3 (FOELKEL; BRASIL; BARRICHELO, 1971); 0,372 g/cm^3 a 0,443 g/cm^3 (AMARAL, FERREIRA; COUTO, 1977); 0,350 g/cm^3 a 0,356 g/cm^3 (BARNES *et al.*, 1977); 0,457 g/cm^3 a 0,471 g/cm^3 (BANKS, 1977); 0,346 g/cm^3 a 0,745 g/cm^3 (BARRICHELO; BRITO, 1979); 0,371 g/cm^3 (MONTAGNA *et al.*, 1983); 0,353 g/cm^3 (BRITO; NUCCI, 1984); 0,345 g/cm^3 a 0,383 g/cm^3 (WRIGHT; GIBSON; BARNES, 1986); 0,416 g/cm^3 (CAMARGO; LIMA; BARRICHELO, 1986); 0,350 g/cm^3 a 0,500 g/cm^3 (KLOCK, 1989); 0,398 g/cm^3 a 0,424 g/cm^3 (MOURA, PARÇA; SILVA, 1991); 0,300 g/cm^3 a 0,700 g/cm^3 (REZENDE; SAGLIETTI; GUERINI, 1995); 0,370 g/cm^3 (MENDES, 2001); 0,420 g/cm^3 (SANSÍGOLO; BARREIROS, 2004); 0,370 g/cm^3 a 0,450 g/cm^3 (VICENTE *et al.*, 2005); 0,357 g/cm^3 a 0,428 g/cm^3 (ARONI; REZENDE, 2007), 0,398 g/cm^3 a 0,436 g/cm^3 (MORAES *et al.*, 2007); 0,431 g/cm^3 a 0,531 g/cm^3 (MORAES NETO; DUBOC, 2008); 0,430 g/cm^3 a 0,460 g/cm^3 (GONÇALEZ *et al.*, 2009); 0,470 g/cm^3 (RIBEIRO, 2009); 0,499 g/cm^3 (CORREA, 2009); 0,507 g/cm^3 a 0,511 g/cm^3 (VALE; ROCHA; DEL MENEZZI, 2009); 0,460 g/cm^3 (CASTRO, 2011).

Em relação à retratibilidade, a espécie apresenta contração tangencial, radial, volumétrica e anisotropia de contração de 5,70%, 2,90%, 8,60% e 1,97 (BANKS,

1977); 5,36% a 8,63%, 2,50% a 5,00%, 8,09% a 13,53% e 1,84 a 2,61 (KLOCK, 1989); 5,40%, 4,3%, 10,20% (REZENDE; SAGLIETI; GUERINI, 1995); 5,22% a 6,88%, 3,02% a 3,87%, 8,34% a 10,61% e 1,78 a 1,86 (VICENTE *et al.* 2005); 5,73% a 6,18%, 3,35% a 4,17%, 1,37 a 1,84 (GONÇALEZ *et al.* 2009); 7,99%, 4,72%, 12,52% e 1,77 (RIBEIRO, 2009), respectivamente.

Para as características químicas, a espécie apresenta 2,6% de extrativos em água quente e 3,4% em álcool-benzeno, teor de lignina de 26,80%, holocelulose de 72,3% e teor de cinzas de 0,2% (BARRICHELO, 1979). Brito e Nucci (1984) obtiveram teor de extrativos em álcool-benzeno de 5,1%, teor de lignina de 31,80%, teor de holocelulose de 65,8% e teor de materiais inorgânicos de 0,30%. Mendes (2001) determinou para a espécie, extrativos totais de 5,12%, teor de lignina de 28,90%, e teor de cinzas de 0,21% e Sansígolo e Barreiros (2004) encontraram teor de extrativos totais de 4,7%, teor de lignina de 26,6% e holocelulose em torno de 68,60%.

Considerando as propriedades mecânicas, o *Pinus caribaea var. hondurensis* apresenta para o ensaio de flexão estática módulo de ruptura de 45 MPa e 68 MPa, para condições verde (saturada) e seca a 12%. Para o módulo de elasticidade, também referentes ao ensaio de flexão, os valores médios são de 6.861 MPa e 7.558 MPa (verde e a 12%). Em relação ao ensaio de compressão paralela, a espécie apresenta resistência de 16,50 MPa e 32,00 MPa também para condições verde e seca a 12%. A resistência ao cisalhamento é de 4,90 MPa e 9,50 MPa, para ambas as condições mencionadas anteriormente (MORAES NETO *et al.*, 2009).

Banks (1977) obteve valores de 73,30 MPa e 74,40 MPa para módulo de ruptura e 8.372,00 MPa e 8.631,00 MPa para módulo de elasticidade, ambos referentes ao ensaio de flexão estática, compressão paralela de 40,50 MPa, resistência ao cisalhamento de 9,90 MPa e 10,00 MPa e dureza de 2.637 N e 2.799 N nas faces laterais e 3.369 N e 3.207 N nas faces longitudinais, para árvores com 24 e 25 anos respectivamente. Para Gonzalez *et al.* (2009), a espécie apresentou módulo de ruptura no intervalo de 83,77 MPa a 99,80 MPa e módulo de elasticidade entre 7.527 MPa e 10.773 MPa. Ribeiro (2009) obteve 89 MPa e 10.192 MPa para módulo de ruptura e elasticidade, respectivamente.

Klock (1989) obteve valores entre 27,03 MPa a 57,55 MPa para o módulo de ruptura e 4.020,31 MPa a 10.595,20 MPa para módulo de elasticidade, ambos

referentes ao ensaio de flexão estática em condição verde. Para o ensaio em condição seca a 15%, os resultados variaram entre 42,69 MPa a 90,16 MPa e 5.454,85 MPa a 14.238,86 para módulo de ruptura e elasticidade respectivamente. Para o ensaio de compressão paralela, os resultados apresentados por este autor variaram de 15,13 MPa a 28,09 MPa e 3.747,91 MPa a 11.288,83 MPa para módulo de ruptura e módulo de elasticidade, respectivamente, em condição verde. Para material seco a 15% os valores médios obtidos foram de 23,72 MPa a 46,79 MPa e 4.665,32 MPa a 13.950,55 MPa, também para módulo de ruptura e elasticidade.

A utilização da madeira desta espécie compreende madeira serrada e produção de celulose (SANSÍGOLO; BARREIROS, 2004; FREITAS *et al.*, 2005; FOELKEL, 2008), construção civil (MORAES *et al.*, 2007), estruturas, estaqueamento marítimo, postes, mastros, pontes, pisos, marcenaria e carpintaria (KLOCK, 1989), painéis de partículas orientadas – OSB (MENDES, 2001), painéis de colagem lateral – EGP (PRATA, 2010) e extração de resina (FOLEKEL, 2008), lenha, carvão e arborização de parques e jardins (MARTO *et al.*, 2009).

A Figura 2.4 apresenta as características do *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.



FIGURA 2.4 – CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

a) Viveiro (SCHUCKAR, 2012); b) Plantio experimental com 5 anos (RRAGROFLORESTAL, 2012); c) Árvores adultas (SCHUCKAR, 2012); d) Povoamento natural no México (REBOLLEDO, 2011); e) Coleta de material em campo - toras (MATOS, 2007); f) Resinagem (RESINA DE PINUS, 2012); g) Cone (CONIFERS, 2012); h) Processamento mecânico (MORAES NETO *et al.*, 2009); i, j, k) Fotos macroscópicas nos planos transversal, tangencial e radial (TRIANOSKI, 2011).

2.2.3.2 *Pinus chiapensis* Andresen

O *Pinus chiapensis* Andresen é uma conífera endêmica do centro e sul do México e do Norte da Guatemala (NEWTON *et al.*, 2002), ocorrendo entre 15° a 20° N de latitude, e 91° a 101° O de longitude (UPTON; DONAHUE, 2003). No México possui maior abundância nos Estados de Oaxaca e Chiapas, ocorrendo também isoladamente em Puebla, Guerrero e Veracruz. Já na Guatemala, esta espécie cresce nas regiões de El Quiché e Huehuetenango (MALAN, 2001; UPTON; DONAHUE; 2003).

Na área de ocorrência natural a precipitação pluviométrica é elevada, variando de 1.300 a 2.300 mm, temperatura média de 20° a 22° C, livre de geadas e em encostas íngremes, onde a altitude varia de 150 m a 2.300 m, sendo mais abundante entre 1.200 m a 1.800 m (UPTON; DONAHUE; 2003). Donahue, Dvorak e Gutiérrez (1991) complementam que esta espécie requer um alto nível de umidade, o qual é um fator limitante para sua distribuição, crescendo bem em solos bem drenados e de profundidade superior a 1 m cujo pH varia entre 4,5 e 5,5.

Del Castillo (2002) relata que o *Pinus chiapensis* é um dos recursos florestais mais importantes das montanhas úmidas e subtropicais destes países, no entanto, Upton e Donahue (2003) relatam que a espécie é considerada uma espécie rara e ameaçada, cujas populações remanescentes tem aproximadamente entre 5 e 20 ha, com pouca ou nenhuma regeneração natural. Wright, Marin e Dvorak (1996) complementam a ameaça, relatando uma forte pressão para conversão das florestas desta espécie em lenha e agricultura, sendo necessário métodos de conversão e uso racional do recurso genético.

O *Pinus chiapensis* pode ocorrer em povoamentos puros ou mistos, sendo que em povoamentos mistos cresce associado com *Pinus maximinoii*, *Pinus oocarpa*, *Pinus pseudostrobus*, *Pinus michoacana*, *Pinus patula* e *Pinus tecunumanii* (DVORAK; DONAHUE, 1992). De acordo com relatos de Carpanezzi *et al.* (2010) Shimizu (2008), na fase inicial do estabelecimento dos povoamentos, esta espécie possui tendência de produzir fustes múltiplos e hastes com casca fina, muito

susceptível a danos mecânicos ou por fogo, sendo necessário o raleio para deixar somente um fuste por planta.

Em relação ao crescimento, esta espécie apresenta normalmente entre 30 m e 40 m de altura, e diâmetro na altura do peito entre 80 cm a 100 cm (UPTON; DONAHUE; 2003).

Carrasco (1998) estudando populações do *Pinus chiapensis* no México encontrou indivíduos com altura de 45 m de altura e 111 cm de DAP. Para região onde as populações são mais adensadas o diâmetro médio variou entre 5-20 cm.

Vargas e Sanchez (2001) avaliando a qualidade do *Pinus chiapensis* em diferentes sítios e diferentes idades, a partir de florestas naturais, obtiveram para árvores com idade entre 13 e 100 anos altura média entre 12,20 m a 34,80 m.

Mendes (2001) em estudo da espécie para produção de painéis de partículas orientadas, localizadas na região de Ventania – PR, com idade de 11 anos, obteve altura total média de 22,36 m e DAP de 31,94 cm. O volume médio por árvore, obtido por este mesmo autor foi de 0,51 m³.

Em termos de produtividade, o incremento médio anual é superior a 20 m³ em pequenas plantações com 10 anos de idade estabelecidas em diversos países (DVORAK; DONAHUE, 1992)

Do ponto de vista comercial, é considerada como uma espécie promissora para plantios em regiões tropicais e subtropicais, onde sua importância está relacionada ao rápido crescimento, podendo atingir até 3 cm de diâmetro por ano (DONAHUE; DVORAK; GUTIÉRREZ, 1991).

Considerando a qualidade da madeira, produz madeira com características intermediárias entre madeiras nobres e de baixa qualidade, sendo muito apreciada principalmente por causa da sua leveza, além de ser de cor clara, macia e estável (MALAN, 2001). Dvorak e Donahue (1988) complementam que em plantios brasileiros a madeira produzida por esta espécie apresenta-se notavelmente uniforme entre os anéis de crescimento, com zona bem definida no cerne.

Em complemento a uniformidade acima descrita, Shimizu (2008) complementa esta informação mencionando que a variação da massa específica na madeira desta espécie é mínima, tanto no sentido medula-casca, como no sentido

longitudinal. Em relação a esta propriedade, a literatura dispõe dos seguintes resultados: 0,370 g/cm³ (MENDES, 2001), 0,407 g/cm³ a 0,426 g/cm³ (MALAN, 2001); 0,340 g/cm³ a 0,380 g/cm³ (UPTON; DONAHUE, 2003).

No que diz respeito a estabilidade dimensional, apresenta resultados médios de contração tangencial no intervalo de 5,80% a 7,30% e contração radial entre 1,50% a 2,10% (MALAN, 2001).

Em relação às propriedades organolépticas e anatômicas apresenta grã espiralada, o cerne ocupa entre 60 e 70% da área de seção transversal e o comprimento médio dos traqueóides varia na faixa de 2,36 mm e 5,12 mm (MALAN, 2001).

A composição química desta espécie, segundo Mendes (2001) possui extrativos totais de 6,19%, teor de lignina de 28,29% e teor de cinzas de 0,15%. Já Dvorak *et al.* (2000) obtiveram para esta espécie teor de extrativos de 4,30%.

É uma espécie muito apreciada por causa do grande tamanho do fuste (DEL CASTILLO, 2002), não apresentando dificuldade no processamento mecânico (MALAN, 2001). É adequada a produção de celulose (OLIVEIRA; FOELKEL; GOMIDE, 1980; WHIGHT; JAMEEL; DVORAK, 1996), produção de painéis aglomerados (IWAKIRI *et al.*, 2001), painéis de partículas orientadas - OSB (MENDES, 2001), painéis compensados (IWAKIRI *et al.* 2009), painéis de colagem lateral – EGP (PRATA, 2010). Possui também, excelente qualidade para marcenaria, confecção de embalagens finas e artesanatos (CARPANEZZI *et al.*, 2010).

A Figura 2.5 apresenta algumas características da espécie *Pinus chiapensis*.



FIGURA 2.5 – CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE *Pinus chiapensis*

a) *Pinus chiapensis* (CAMCORE, 2012); b) Povoamento natural em Veracruz (VERARBOLES, 2012); c) Seleção genética de *Pinus chiapensis* com 15 anos na África do Sul (CAMCORE, 2009); d) Processamento mecânico (MATOS, 2007); e, f, g) Fotos macroscópicas nos planos transversal, tangencial e radial (TRIANOSKI, 2011).

2.2.3.3 *Pinus maximinoi* H. E. Moore

O *Pinus maximinoi* H. E. Moore é uma espécie de *Pinus* tropical nativo do México e de alguns países da América Central, como Guatemala, Nicarágua, Honduras e El Salvador, situadas entre as latitudes 13°50' N e 99°59' O (DVORAK; DONAHUE, 1992; DVORAK *et al.*, 2000; MALAN, 2006).

Ocorre em altitudes que variam entre 700 a 2.400 m e precipitação anual entre 900 e 2.200 mm, com uma estação seca bem definida, no entanto, apresenta maior preferência por áreas cuja precipitação é superior a 1.200 mm. Nas áreas montanhosas, os povoamentos recebem umidade adicional dos constantes nevoeiros (DVORAK *et al.*, 2000).

Nas áreas de maior altitude, o *Pinus maximinoi* é encontrado em sítios úmidos, cujos solos são profundos e férteis, muitas vezes em associação com *Pinus tecunumanii*. Já nas áreas mais baixas, particularmente no México, as populações ocorrem em sítios pobres e solos rasos, com pronunciada estação de seca e com elevada densidade de *Pinus oocarpa* (DVORAK; DONAHUE, 1992).

Por outro lado, a ocorrência desta espécie no México, em áreas cuja altitude é superior a 1.700 m e os solos são profundos e férteis, árvores de 30 anos de idade podem atingir 40 m de altura e diâmetro na altura do peito de 100 cm, com boa formação de fuste e galhos grandes e grossos (DVORAK; DONAHUE, 1992).

Não resiste a períodos de frio prolongado e geadas, onde estes efeitos climáticos causam a morte de brotos terminais dos ramos, deformação do fuste e em muitos casos a morte da árvore (DVORAK; DONAHUE, 1992).

Foi introduzida em diversos países a fim de avaliar o seu potencial e conservar o recurso genético. Gapare, Hodge e Dvorak (2001) avaliando o comportamento desta espécie no Brasil, na África do Sul e na Colômbia, aos 5 e 8 anos obtiveram os resultados abaixo apresentados:

TABELA 2.1 – CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO DO *Pinus maximinoi* NO BRASIL, COLÔMBIA E ÁFRICA DO SUL

País	DAP	DAP	Altura	Altura	Volume	Volume
	5 anos (cm)	8 anos (cm)	5 anos (m)	8 anos (m)	5 anos (m ³)	8 anos (m ³)
Brasil	14,40	15,70	9,30	12,30	0,07	0,10
Colômbia	16,20	21,70	10,50	14,90	0,09	0,21
África do Sul	12,70	17,80	9,00	12,60	0,05	0,12

Fonte: GAPARE; HODGE; DVORAK (2001)

Em continuidade do comportamento de crescimento desta espécie em diferentes locais, Kietzka (1988) avaliando procedências de *Pinus maximinoi* na África do Sul, obteve para árvore de 4,8 anos, altura média entre 5,40 m e 5,70 m, diâmetro médio na altura do peito entre 6,5 cm a 7,3 cm e volume médio por árvore de 0,007 m³ a 0,010m³.

Wright e Malan (1991) e Wright e Wessels (1992) analisando árvores de 10,50 anos para produção de polpa celulósica na África do Sul, obtiveram volume de 0,153 m³ por árvore.

Sampaio (1996) estudando a variabilidade genética de testes de procedências e progênies com cinco anos de idade, localizados em Ventania – PR, obteve altura média entre 9,7 m a 10,90 m, diâmetro na altura do peito na faixa de variação de 15,60 cm a 17,40 cm e volume médio por árvore entre 0,080 m³ a 0,105 m³.

Klock (2000) avaliando a qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi*, encontrou para árvores de 10 anos provenientes de Ventania – PR, altura total média de 22,55 m, altura comercial de 17,30 m e diâmetro médio na altura do peito de 28,07 cm. Segundo este mesmo autor, o volume comercial médio com casca por árvore foi de 0,508 m³ e sem casca foi de 0,440 m³, com percentual médio de casca de 14,20 %.

Mendes (2001) utilizando o mesmo plantio acima descrito, no entanto com 11 anos, obteve altura média de 22,16 m e diâmetro médio na altura do peito de 28,75 cm. Para o volume médio por árvore este autor obteve 0,470 m³.

Fier (2001) em estudo da variabilidade genética desta espécie na região de Telêmaco Borba – PR com idade entre 1 e 8 anos, obteve para as progênies e procedências de 8 anos, altura média de 16,75 m, diâmetro médio de 20,59 cm, e volume médio por árvore de 0,233 m³. De uma maneira geral, a pesquisa desenvolvida por esta autora indicou maior crescimento para o *Pinus maximinoi* quando comparado com o *Pinus taeda*, com média do volume 48,90% maior.

Malan (2006) avaliando as propriedades e qualidade da madeira serrada a partir de povoamento localizado na África do Sul, com 15 anos de idade e compostos de diferentes procedências, obteve altura média variando entre 24,40 m e 28,20 m, diâmetro médio entre 33,30 cm e 38,30 cm, e espessura de casca entre 0,80 cm a 12,70 cm.

No que diz respeito à qualidade da madeira, Malan (2006) relata que a espécie demonstra grande potencial e Kietzka (1988) corrobora afirmando que é bastante promissora devido a sua forma, servindo como matéria prima complementar a indústria madeireira.

Dvorak *et al.* (2000) relatam que a massa específica é moderada, e que a qualidade da madeira é tão boa, ou melhor, quando comparada com a madeira de espécies comercialmente utilizadas, como *Pinus patula*, quando as duas são plantadas no mesmo local.

Assim, a literatura apresenta para esta propriedade os seguintes resultados: 0,456 g/cm³ (WRIGHT; MALAN; 1991; WRIGHT; WESSELS, 1992), 0,410 g/cm³ (KLOCK, 2000); 0,380 g/cm³ (MENDES, 2001); 0,471 g/cm³ a 0,508 g/cm³ (MALAN, 2006).

Considerando as propriedades de retratibilidade, o *Pinus maximinoi* apresenta contração tangencial de 6,06%, contração radial de 2,92%, contração volumétrica de 9,08% e anisotropia de contração de 2,21 (KLOCK, 2000).

Em relação às propriedades organolépticas e anatômicas, a espécie possui anéis de crescimento distintos, comprimento de traqueóides variando entre 1,26 mm a 6,60 mm, média de 3,17 mm no lenho inicial e de 3,27 mm no lenho tardio; largura

no intervalo de 15,00 μm a 80,00 μm , média de 44,70 μm no lenho inicial e de 42,60 μm no lenho tardio e espessura de parede entre 1,25 a 18,75 μm , média de 5,70 μm no lenho inicial e de 7,60 μm no lenho tardio, e percentual médio de lenho tardio de 6,35% (KLOCK, 2000). Em adição, Wright e Malan (1991) relatam a partir de seu estudo, espessura média de parede de 7,16 μm .

Em referência as propriedades químicas, Dvorak *et al.* (2000) relatam que o teor de extrativos é considerado baixo quando comparado com outras espécies tropicais, como *Pinus caribaea var. hondurensis* ou *Pinus oocarpa*. Klock (2000) e Mendes (2001) apresentam para a espécie teor de extrativos de 3,72%, lignina de 28,70%, e materiais inorgânicos de 0,17%. Klock (2000) complementa a composição química desta espécie descrevendo que a mesma possui teor de holocelulose em torno de 67,50%.

Para as propriedades mecânicas, os resultados disponibilizados pela literatura (KLOCK, 2000) são de 66,07 MPa e 8.336,9 MPa para módulo de ruptura e módulo de elasticidade no ensaio de flexão estática, respectivamente. Para o ensaio de compressão paralela às fibras, este mesmo autor apresenta resultados de 24,12 MPa e 6.867,10 MPa também para módulo de ruptura e elasticidade. No ensaio de cisalhamento, os resultados médios obtidos foram de 10,04 MPa para o sentido tangencial e 8,25 MPa para o sentido radial e a dureza a partir das 3 faces avaliadas variou entre 2.266 N a 3.411 N.

Esta espécie é adequada para uso em construções, celulose de fibra longa e painéis de fibras (WRIGHT; WESSELS, 1992), polpação termomecânica (DVORAK *et al.*, 2000), celulose e papel (KLOCK, 2000), painéis aglomerados (IWAKIRI *et al.* 2001), painéis de partículas orientadas – OSB (MENDES, 2001), painéis compensados (IWAKIRI *et al.* 2009) e painéis de colagem lateral – EGP (PRATA, 2010).

A Figura 2.6 apresenta algumas características relacionadas ao *Pinus maximinoi*.



FIGURA 2.6 – CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE *Pinus maximinoi*

a) Plantio na Guatemala (CAMCORE, 2008a); b) Plantio na África do Sul (DVORAK, 2010); c) Floração (ISAZA, 2009); d) Plantio em Ventania – PR (MATOS, 2007); e, f, g) Fotos macroscópicas nos planos transversal, tangencial e radial (TRIANOSKI, 2011); h, i, j) Fotomicrografia nos planos transversal, tangencial e radial (KLOCK, 2000).

2.2.3.4 *Pinus oocarpa* Schiede

O *Pinus oocarpa* Schiede é uma importante espécie de *Pinus* nativa do México e América Central (EMBRAPA, 1986; MOURA; DVORAK; NOGUEIRA, 1998), de ampla distribuição no México, Belize, Guatemala, Honduras e Guatemala (SAMPAIO, 1996). De acordo com Moura e Dvorak (1998), constitui aproximadamente 45% das florestas de *Pinus* de Chiapas, 50% da Guatemala, 66% de Honduras, 90% da Nicarágua e 60% de El Salvador.

Em sua região de origem, se estende em regiões de colinas e montanhas (IPEF, 1976), e em altitudes que variam de 300 m a 2.000 m, com precipitação média anual de até 2.000 mm (CÉSAR; SHIMIZU; ROMANELLI, 1988), com chuvas estacionais e período de seca de 2 a 6 meses (IPEF, 1976; EMBRAPA, 1986). A temperatura média varia entre 13° C a 21 °C, onde nos meses mais quentes fica em torno de 20° C a 30° C, e nos meses mais frios oscila entre 8° C a 16 °C (EMBRAPA, 1986).

As árvores desta espécie alcançam entre 20 m e 30 m, e em algumas situações até 35 m, e DAP entre 40 cm e 70 cm. A forma do tronco varia bastante, os galhos são finos e relativamente ralos e a casca possui fendas e freqüentemente é escamosa na parte superior (LAMPRECHT, 1990).

Apresenta potencialidade de crescimento em áreas de baixa fertilidade, solos ácidos a neutro, rasos e de drenagem livre (EMBRAPA, 1986), representando com isso, uma das mais importantes espécies de coníferas para diversas regiões tropicais e subtropicais (KAGEYAMA *et al.*, 1977)

Os primeiros plantios de *P. oocarpa*, como exótica, foram efetuados em 1911, na África do Sul e em outros países, nos anos 50, com sementes originárias do México. Como esses plantios, invariavelmente, produziam baixos incrementos e má forma de fuste, não houve, inicialmente, muito interesse pela espécie para reflorestamento. Entretanto, novas coleções procedentes da América Central, estabelecidas nos anos 60, resultaram em alto incremento e excelente forma de fuste, demonstrando o alto potencial da espécie, quando são utilizadas sementes de procedências apropriadas. Pelas análises do crescimento, foi evidenciado que as

características e o comportamento da espécie são alteradas negativamente à medida que aumenta a latitude das suas origens (CÉSAR; SHIMIZU; ROMANELLI, 1988).

No Brasil, as plantações de *Pinus oocarpa* foram estabelecidas em largas áreas durante o incentivo aos programas de reflorestamento, no início dos anos da década de 1970, principalmente na região do cerrado brasileiro (MOURA; DVORAK; HODGE, 1998). Kageyama *et al.* (1977) complementam a introdução desta espécie em território brasileiro, relatando que as maiores plantações com a espécie situam-se nos Estados de São Paulo e Minas Gerais, no entanto, as sementes utilizadas para implantação dessas florestas foram, no geral, de origem não definida. Segundo estes autores, as variações observadas entre plantações da espécie, tanto para as características de crescimento como para forma geral das árvores, justificam a necessidade de estudos de procedência e conseqüentemente de melhoramento genético.

Em estudo mais recente, Shimizu (2008) relata que o melhor desempenho das procedências se observa nas encostas bem drenadas, em regiões temperadas amenas a semi-tropicais não sendo recomendado o plantio desta espécie na Bacia Amazônica, onde ela é vulnerável a doenças de origem bacteriana. Em complemento ao desempenho das procedências no Brasil, a semente procedente de Honduras tem apresentado os melhores resultados, e procedências da Nicarágua e Belize tem se mostrado muito promissora (IPEF, 1976).

Em relação ao crescimento dos plantios desta espécie, Kageyama *et al.* (1977) avaliando árvores com 4 anos na região de Agudos - SP, obtiveram a partir de seu experimento diâmetro médio de 11,25 cm e altura média de 7,30 m.

Brasil, Nicolielo e Veiga (1980), também em experimento na região de Agudos, encontraram para a variável DAP, valores médios de 12,62 cm para árvores de 7 anos, 18,68 cm para árvores de 13 anos e 21,00 cm para indivíduos com 14 anos.

Capitani *et al.* (1980) em estudo da potencialidade de resinagem na região de Sacramento – MG, obtiveram para plantio de 7,6 anos, altura média de 11,16 m e DAP médio de 17,80 cm.

Klock (1989) avaliando a qualidade da madeira desta espécie na região de Agudos – SP, a partir de diferentes idades, obteve diâmetro médio de 24,75 cm e 29,00 cm e altura comercial média de 21,76 m e 23,31 m para árvores de 14 e 18 anos respectivamente.

Sampaio (1996) analisando o comportamento de progênies e procedências com 9 anos de idade, em Angatuba - SP, obteve alturas médias entre 16,70 m a 17,70 m, DAP no intervalo de 22,70 cm a 23,20 cm e volume médio por árvore entre 0,282 m³ e 0,310 m³.

Mendes (2001) em estudo a partir de árvores provenientes de Ventania – PR, obteve altura média de 21,61 m, diâmetro na altura do peito de 31,09 cm e volume médio por árvore de 0,490 m³.

Mendes *et al.* (2001) avaliando a variabilidade da massa específica básica em indivíduos com 14 anos de idade na região de Minas Gerais, obteve altura média de 17,38 m e DAP médio de 18,69 cm.

Barros *et al.* (2002) em análise do comportamento hipsométrico de plantio de *Pinus oocarpa* com idades entre 5 e 25 anos, encontraram para a idade de 15 anos, altura no intervalo de variação de 19,30 m a 28,00 m e DAP compreendido entre 18,00 cm e 32,10 cm. Para a variável volume, tais autores obtiveram valores entre 0,424 m³ a 0,537 m³, a partir de diferentes métodos de determinação.

Ettori *et al.* (2002) estudando plantios florestais de 18 anos em diferentes sítios de crescimento na região de São Paulo, obtiveram altura média variando entre 24,02 m a 27,84 m e DAP médio entre 18,50 cm a 21,36 cm.

Sansígolo e Barreiros (2004) em avaliação da madeira de *Pinus oocarpa* para a produção de celulose determinaram para plantio de 20 anos, altura comercial média de 19,70 m, DAP de 23,10 cm.

Serpe e Watzlawick (2009) buscando determinar o incremento diamétrico em espécies de *Pinus* no Oeste do Paraná, obtiveram para esta espécie diâmetro médio de 9,33 cm para indivíduos de quatro anos de idade.

Já estudos realizados por Sampaio, Resende e Araujo (2002), na região de São Paulo, descrevem produtividade volumétrica média desta espécie em torno de

0,296 m³ por árvore aos 9 anos de idade e concluem que a seleção para o melhoramento genético permite um aumento para 0,341 m³.

Quanto à qualidade da madeira, poucos estudos aprofundados têm sido conduzidos com *P. oocarpa*, principalmente no Brasil, no entanto, e de acordo com Kageyama *et al.* (1977) mesmo existindo poucos estudos tecnológicos, a exportação da madeira de populações naturais dessa espécie para os Estados Unidos e para a Europa tem demonstrado aceitação no mercado internacional.

Em relação as características anatômicas, a espécie apresenta comprimento de traqueóides entre 2,96 mm a 3,80 mm, largura entre 42,77 µm a 49,06 µm e espessura de parede entre 5,71 µm a 9,02 µm (FOELKEL, *et al.*, 1975). Klock (1989) obteve comprimento médio entre 1,98 mm a 4,50 mm e espessura de parede entre 3,53 µm e 9,84 µm. Sampaio (1996) determinou comprimento médio de 3,20 mm, largura de traqueóide de 53,10 µm e espessura de parede de 8,20 µm e Sansígolo e Barreiros (2004) obtiveram comprimento médio de 2,91 mm, largura de 46,35 µm e espessura de parede 5,77 µm.

Para a propriedade de massa específica, a literatura dispõe dos seguintes resultados: 0,362 g/cm³ a 0,441 g/cm³ (FOELKEL *et al.*, 1975); 0,343 g/cm³ a 0,494 g/cm³ (AMARAL; FERREIRA; COUTO, 1977); 0,434 g/cm³ a 0,498 g/cm³ (BRASIL, NICOLIELO, VEIGA, 1980); 0,396 g/cm³ (BRITO; NUCCI, 1984); 0,450 g/cm³ a 0,600 g/cm³ (EMBRAPA, 1986; LAMPRECHT, 1990); 0,394 g/cm³ a 0,488 g/cm³ (KLOCK, 1989); 0,400 g/cm³ a 0,415 g/cm³ (SAMPAIO, 1996); 0,388 g/cm³ a 0,525 g/cm³ (MENDES *et al.*, 2001); 0,430 g/cm³ (MENDES, 2001); 0,564 g/cm³ (REZENDE; SEVERO; QUINTANA, 2001); 0,437 g/cm³ (SANSÍGOLO; BARREIROS, 2004) e 0,504 g/cm³ (MORAES NETO; MELO, 2008).

No que diz respeito as propriedades de estabilidade dimensional, esta espécie apresenta contração tangencial no intervalo de 5,69% a 7,79%, contração radial entre 2,72% a 4,39%, contração volumétrica de 8,61% a 11,98% e anisotropia de contração de 1,82 a 2,26 (KLOCK, 1989).

Em relação à composição química, a espécie apresenta extrativos solúveis em álcool-benzeno de 5,30%, teor de lignina de 31,00% e teor de holocelulose de 62,00% (BRITO; NUCCI, 1984). Mendes (2001) descreve teor de extrativos totais de

5,12%, teor de lignina de 27,76% e teor de cinzas de 0,25%. Sansígolo e Barreiros (2004) determinaram teor de extrativos totais de 5,6%, teor de lignina de 26,50% e teor de holocelulose de 67,90% e Moraes, Nascimento e Melo (2005) obtiveram teor de extrativos em água quente de 4,31%, em etanol 3,01%, e em etanol-tolueno 4,38%, teor de cinzas de 1,26% e lignina de 25,18%.

Para as propriedades mecânicas os valores encontrados são: módulo de ruptura entre 32,60 MPa e 57,85 MPa e módulo de elasticidade na faixa de 4.478,01 MPa e 11.515,95 MPa, para o ensaio de flexão estática em estado verde. Na condição seca a 15%, os valores situam-se entre 50,10 MPa a 81,94 MPa e 5.021,30 MPa a 12.723,44 MPa para módulo de ruptura e elasticidade, respectivamente. Em relação ao ensaio de compressão paralela os valores estão entre 17,74 MPa a 30,70 MPa e 4.859,69 MPa a 11.408,37 MPa para módulo de ruptura e módulo de elasticidade, respectivamente, ambos na condição verde. A 15% de umidade de equilíbrio, os valores apresentaram-se no intervalo de 29,86 MPa a 46,16 MPa para módulo de ruptura e 5.481,13 MPa a 13.182,39 MPa para módulo de elasticidade (KLOCK, 1989).

Em relação à utilização da madeira desta espécie, a literatura afirma ser adequada para a produção de celulose (KAGEYAMA *et al.*, 1977; LAMPRECHT, 1990; MORAIS; NASCIMENTO; MELO, 2005), laminados e chapas de fibras (EMBRAPA, 1986), construções leves e extração de resina (LAMPRECHT, 1990), painéis OSB (MENDES, 2001), painéis compensados (IWAKIRI *et al.*, 2002; IWAKIRI *et al.*, 2009), painéis de lâminas paralelas (SOUZA, 2009), painéis de colagem lateral - EGP (PRATA, 2010), extração de tanino da casca (39%) (VIEIRA *et al.*, 2011).

A Figura 2.7 apresenta algumas características do *Pinus oocarpa*.



FIGURA 2.7 – CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE *Pinus oocarpa*

a) Regeneração natural na Nicarágua (CAMCORE, 2007a); b) População no México (DVORAK, 2008); c) Dano causado pela extração de resina (CAMCORE, 2007a); d) Coleta de material em Ventania – PR (MATOS, 2007); e) Coleta de sementes (CAMCORE, 2008b); f) Polinização (THIGE, 2004); g) Coleta não destrutiva (MATOS, 2007); h, i, j) Fotos macroscópicas nos planos transversal, tangencial e radial (TRIANOSKI, 2011).

2.2.3.5 *Pinus tecunumanii* Piedra & Perry

O *Pinus tecunumanii* Piedra & Perry ocorre naturalmente entre a latitude de 13° a 28° N, que se estende desde o Sul do México, até a região central da Nicarágua (EGUILUZ-PIEDRA; PERRY, 1983; MOURA; VALE; ISAIAS, 2004; SHIMIZU, 2005). Nas áreas de ocorrência natural a precipitação média anual varia entre 1.200 mm e 2.000 mm e o melhor crescimento se observa nas encostas com solos férteis, profundos e bem drenados (SHIMIZU, 2008).

Esta espécie é encontrada em populações cuja altitude varia de 400 a 2.800 m (HODGE; DVORAK, 1999) sendo classificada em populações de altitude elevada e populações de baixa altitude. Shimizu (2008) esclarece esta classificação, afirmando que os povoamentos de baixa altitude ocorrem em altitudes de 450 a 1.500m e de elevada altitude ocorrem em altitudes de 1.500 a 2.900 m. Dvorak e Kellinson (1991) acrescentam a possível influência da altitude afirmando, que em algumas situações, procedências oriundas de baixa altitude, principalmente de Belize e Nicarágua, apresentam elevado crescimento e grande produção volumétrica. Em complemento, Gibson (1987) sugere que esta variabilidade de crescimento em altura e produção volumétrica estão associados à procedência.

Em referência às características dendrométricas, é bastante comum encontrar na literatura, (EGUILUZ-PIEDRA; PERRY, 1983; MOURA; VALE; ISAIAS, 2004; SHIMIZU, 2005; 2008), relatos que esta espécie pode atingir 50 m de altura e 120 cm de diâmetro.

Alguns exemplos do crescimento desta espécie podem ser apresentados, onde, Shimoyama e Wiecheteck (1993) analisando o crescimento desta espécie obtiveram altura média de 23,60 m e DAP de 24,60 cm para um povoamento de 12 anos de idade.

Vieira e Shimizu (1998) avaliando o potencial produtivo do *Pinus tecunumanii* em Rondônia apresentaram a partir de testes de procedências e progênies com 6 anos, altura entre 7,15 m e 8,08 m e DAP variando entre 9,40 cm a 11,00 cm.

Mendes (2001) estudando a qualidade da madeira para produção de painéis de partículas orientadas, oriunda de plantios localizados em Ventania – PR, com 11

anos, obteve para as árvores amostradas, altura média de 21,25 m e DAP médio de 34,06 cm. Para a variável volume por árvore, este autor determinou valor médio de 0,570 m³.

Moura e Vale (2002) descrevem para procedências centro-americanas e mexicanas com 15 anos, valores médios de 17,8 m e 23,6 cm e 17,12 m e 22,78 cm, para altura e DAP, respectivamente. Torres, Melo e Colodette (2005), relatam que um povoamento instalado na Colômbia com 12 anos de idade, apresentou altura média de 21,44 m e DAP médio de 21,24 cm.

Sebbenn *et al.* (2005) estudando plantio com 14 anos de idade localizados no Noroeste de São Paulo, obtiveram altura média variando entre 18,60 m a 20,26 m e DAP médio de 26,47 cm a 28,58 cm para nove procedências. Pelissari, Lanssanova e Drescher (2011), obtiveram para povoamentos também de 12 anos, no entanto, localizados em Rondônia, altura média de 19,77 m e DAP de 18,65 cm.

Em relação à produtividade, Moura e Vale (2002) relatam que entre as espécies de *Pinus*, o *Pinus tecunumanii* é um das que apresenta maior potencial, de acordo com as observações resultantes de uma série de ensaios internacionais. Na região de ocorrência natural, povoamentos atingem entre 300 e 340 m³/ha⁻¹ aos 35 anos de idade (CORDERO; BOSHIER, 2003). Para ensaios internacionais, foram observados volumes médios por árvore de 0,310 m³, para povoamentos com 15 anos (MOURA; VALE, 2002) e 0,296 m³ em árvores de 12 anos (PELLISSARI; LANSSANOVA; DRESCHER, 2011).

Moura, Vale e Isaias (2004) avaliando a variabilidade genética em plantios localizados na região de Planaltina – DF, obtiveram volume médio por árvore de 0,190 m³ e 0,360 m³, para árvores de 12 e 17 anos respectivamente.

No Brasil, esta espécie apresentou boa adaptação às condições subtropicais e tropicais (MOURA; VALE; OLIVEIRA, 2005) sendo uma das espécies tropicais mais valorizadas pela alta produtividade nos Cerrados das Regiões Centro-Oeste e Sudeste e pela alta qualidade da sua madeira (SHIMIZU, 2005; 2008). No entanto, Moura, Oliveira e Rezek (1996) afirmam que apesar dos bons resultados obtidos em crescimento, os plantios comerciais com esta espécie ainda são poucos, em virtude do pouco conhecimento sobre as suas necessidades silviculturais e da dificuldade de se produzir grandes quantidades de semente.

Moura e Vale (2002) e Moura, Vale e Oliveira (2005) reforçam os poucos plantios comerciais com esta espécie, citando que apesar do excelente crescimento, muitas companhias florestais ainda hesitam em plantá-lo em extensas áreas, pois ainda são poucas as informações sobre qualidade de sua madeira em relação a outras espécies comumente plantadas em escala comercial nos trópicos e subtropicais.

Embora poucos sejam os plantios comerciais com *Pinus tecunumanii* no Brasil, esta espécie tem sido extensivamente testada, onde Shimizu (2005) recomenda para seu plantio, a Bacia Amazônica e as planícies costeiras.

Em relação aos plantios, as áreas estabelecidas com esta espécie localizam-se quase que exclusivamente no cerrado brasileiro, onde também é notada a influência da altitude, sendo evidenciado nestes casos, que populações de baixa altitude normalmente têm apresentado maior crescimento volumétrico e também maior massa específica (MOURA; DVORAK, 1998).

Considerando as práticas de melhoramento florestal, especialistas da área ressaltam que em função do grande potencial de produção e da capacidade de adaptação a diversos ambientes, esta espécie se apresenta como espécie alternativa para atividades de reflorestamento (CORNACCHIA *et al.*, 2008) sendo recomendada sua inclusão nos processos de melhoramento genético (MOURA; DVORAK, 1998). As procedências de Mountain Pine Ridge, Belize e Yacul são as mais indicadas para o território brasileiro (MOURA; VALE, 2002), podendo-se então dar ênfase no melhoramento destas procedências. Shimoyama e Wiecheteck (1993) corroboram com a importância do melhoramento desta espécie, afirmando que as características de qualidade da madeira poderão ser melhoradas através do controle genético, já que a espécie ainda não sofreu nenhum grau de melhoramento.

Em referência às características do fuste das árvores, vale ressaltar que esta espécie apresenta ramos finos e boa desrama natural (MOURA; VALE, 2002), excelente forma cilíndrica e copa compacta (EGUILUZ-PIEDRA; PERRY, 1983). A casca, na parte basal, é espessa, com diâmetro de 2 cm a 4 cm e, a partir dos 4 m para cima, torna-se fina, escamosa, de coloração marrom-avermelhada (Shimizu, 2005). Shimoyama e Wiecheteck (1993), após a avaliação do teor de casca na espécie obtiveram um valor de 10,79%.

Em síntese às características tecnológicas da madeira, esta espécie é descrita como de excelente qualidade. Wright (1988), referencia a massa específica desta espécie, como superior à massa específica apresentadas pelas espécies *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus chiapensis*, e segundo Shimoyama e Wiecheteck (1993), similar ao *Pinus caribaea*. Informações referentes à massa específica do *Pinus tecunumanii* são complementadas por Shimizu (2005), que relata que a variação interna em massa específica, tanto no sentido medula-casca quanto no sentido longitudinal é substancialmente menor que em outras espécies de *Pinus*.

De acordo com a literatura, os valores médios para esta propriedade são de: 0,445 g/cm³ (SHIMOYAMA; WIECHETECK, 1993); 0,410 g/cm³ (MENDES, 2001); 0,389 g/cm³ e 0,418 g/cm³ (MOURA; VALE, 2002); 0,430 g/cm³ a 0,460 g/cm³ (MOURA; VALE; ISAIAS, 2004); 0,370 g/cm³ a 0,440 g/cm³ (VICENTE *et al.*, 2005); 0,466 g/cm³ (TORRES; MELLO; COLODETTE, 2005), 0,510 g/cm³ a 0,560 g/cm³ (SHIMIZU, 2005).

A respeito da estabilidade dimensional, a literatura preconiza, valores médios para contração tangencial, radial, volumétrica e anisotropia de contração de 5,58%, 3,09%, 8,81% e 1,85 (VICENTE *et al.*, 2005); 7,10%, 3,80%, 11,40% e 2,07 (MORAES NETO *et al.*, 2009b).

Em relação às características anatômicas, a literatura apresenta para esta espécie, resultados bastante similares, sendo encontrados valores para o comprimento de 4,56 mm, diâmetro de 54,80 µm e espessura de parede de 10,00 µm (SHIMOYAMA; WIECHETECK, 1993), comprimento de 3,96 mm, diâmetro de 51,93 µm e espessura de parede de 9,48 µm (TORRES; MELO; COLODETTE, 2005).

Sob o ponto de vista químico, o *Pinus tecunumanii* apresenta teor de holocelulose de 60,41%, teor de lignina de 35,49 % e extrativos totais de 4,10% (SHIMOYAMA; WIECHETECK, 1993). Já Mendes (2001) determinou para esta espécie, extrativos totais de 5,54%; teor de lignina de 27,23% e teor de cinza de 0,19%.

Para as propriedades mecânicas, a literatura apresenta resultados médios de 7.134 MPa e 8.239 MPa para o módulo de elasticidade nos estados verde e seco a

12% respectivamente, 43 MPa e 72 MPa para módulo de ruptura (verde e seco a 12%); 4,9 MPa e 9,1 MPa para o ensaio de cisalhamento (verde e seco a 12%) e 18 MPa e 36 MPa para compressão paralela às fibras, nas condições verde e seca a 12%, respectivamente (MORAES NETO; TELES; RODRIGUES, 2009). Já Moura, Vale e Oliveira (2005) obtiveram resultados de 69 MPa e 8.466 MPa para módulo de ruptura e módulo de elasticidade, respectivamente, 31 MPa para compressão paralela e 10 MPa para cisalhamento, sendo todas as propriedades determinadas a 12% de umidade.

Considerando as possíveis utilizações, Hodge e Dvorak (1999) ressaltam que a madeira desta espécie é aceitável para diversas finalidades. Dvorak *et al.* (2000) afirmam que é matéria prima potencial para polpação. Shimoyama e Wiecheteck (1993) acrescentam que quando introduzida em altitudes apropriadas, esta espécie se apresenta adequada para a fabricação de pastas e papel, cujas dimensões e flexibilidade das fibras são excelentes para produção de papel imprensa e de alta resistência, e as propriedades químicas viabilizam o seu uso para produção de pasta termomecânica. Torres, Melo e Colodette (2005) corroboram com esta afirmação mencionando que a espécie apresenta características morfológicas e tecnológicas adequadas para a produção de celulose *Kraft* branqueada e Wright (1990) complementa que além de apresentar propriedades adequadas a produção de papel kraft esta espécie é adequada a usos estruturais.

Outras utilizações dizem respeito à aplicação da espécie em painéis de madeira aglomerada (IWAKIRI *et al.*, 2001), painéis OSB (MENDES, 2001), painéis compensados (IWAKIRI *et al.*, 2009), painéis de colagem lateral (PRATA, 2010), arborização de parques e jardins e construções (MARTO *et al.*, 2009).

Na Figura 2.8 são apresentadas algumas características da espécie *Pinus tecunumanii*.



FIGURA 2.8 – CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE *Pinus tecunumanii*

a) Limpeza de cones para extração de sementes; (CAMCORE, 2008d); b) Coleta de sementes na Nicarágua (CAMCORE, 2010a) c) Área de estudo de procedências e coleta de sementes no Paraná (CAMCORE, 2008c); d) Plantio com 3 anos na África do Sul (CAMCORE, 2010a) e) Plantio de 26 anos no Paraná (CAMCORE, 2007b); f) medições de crescimento (CAMCORE, 2008e); g) Resinagem em Honduras (CAMCORE, 2007b); h) Coleta de material em Ventania – PR (MATOS, 2007); e) Coleta de sementes (CAMCORE, 2008); j,k,l) Fotos macroscópicas nos planos transversal, tangencial e radial (TRIANOSKI, 2011).

2.2.3.6 *Pinus taeda* L.

O *Pinus taeda*, é nativo do Sul dos Estados Unidos, ocorrendo naturalmente em toda esta região (VALERI; SOARES; MONTEIRO, 1989) entre as latitudes de 29° N até 38° N e as longitudes de 75° O e 95° O (KOCH, 1972; BARRICHELO *et al.*, 1977).

Sua grande distribuição geográfica, ampla ocorrência em povoamentos puros e sua intensa utilização, tornam esta espécie a mais importante comercialmente (KOCH, 1972; USDA, 1985). Nos locais onde não ocorre em povoamentos puros, esta espécie é encontrada com *Pinus echinata* e outras madeiras duras, onde é observada uma intensa competição entre as árvores (USDA, 1985).

Em sua região de origem se desenvolve em todas as altitudes até 600 m e em uma ampla variedade de solos, apresentando bom desempenho em solos pobres e profundos com drenagem moderada (KOCH, 1972; USDA, 1985). A precipitação na área de ocorrência natural varia de 1000 mm a 1500 mm e a temperatura varia entre -23° C a 30° C (KOCH; 1972).

No ambiente natural as árvores de *Pinus taeda* com idade elevada, podem atingir até cerca de 45 m de altura e diâmetros de até 150 cm (KOCK, 1972; USDA, 1985). A Tabela 2.2 apresenta o intervalo de variação das características de altura e diâmetro para árvores de diferentes idades.

TABELA 2.2 - CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO DO *Pinus taeda* EM ÁREAS DE OCORRÊNCIA NATURAL

Idade (anos)	DAP (cm)	Altura (m)
20	11,68 - 21,60	9,75 – 19,50
30	16,74 – 30,23	13,72 – 27,13
40	20,57 – 37,08	16,46 – 32,92
50	23,88 – 42,67	18,29 – 36,58
60	26,42 – 47,24	19,51 – 39,01

Fonte: KOCH (1972) adaptado

Nos Estados Unidos, as plantações de *Pinus taeda* são dominantes e possuem bom crescimento, sustentando a manufatura de uma ampla gama de produtos florestais. Pesquisas com melhoramento genético e refinamento das práticas silviculturais tem aumentado substancialmente o desenvolvimento e crescimento desta espécie (JONES *et al.*, 2005).

Segundo Tang e Newton (2001) e Oliveira *et al.* (2006), é uma conífera economicamente importante, largamente plantada em regiões temperadas e subtropicais. Foi introduzida em diversos países com muito sucesso, no entanto, houve uma grande preocupação com estudos de procedências, visto que este fator tem revelado amplas variações e que devem ser exploradas para o aumento da produtividade de plantios comerciais.

No Brasil, as plantações comerciais desta espécie têm sido efetuadas na Região Sul e Sudeste, sobretudo nas terras mais altas da Serra Gaúcha e do Planalto Catarinense (MARCHIORI, 1996). Shimizu (2008) complementa o plantio nestas duas regiões (Sul e Sudeste) mencionando plantios em solos bem drenados, e sem déficit hídrico, as quais incluem as áreas serranas do Rio Grande do Sul, Santa Catarina já mencionadas, no Paraná, e locais mais chuvosos dos estados de São Paulo e Minas Gerais.

Muitas pesquisas foram desenvolvidas com a espécie, podendo-se relatar as características de crescimento a partir de algumas delas, como por exemplo, Matos (1997), que em seu estudo utilizou árvores provenientes de Santa Catarina, com 21 anos, as quais possuíam altura média de 19,40 m e DAP de 32,30 cm.

Couto e Vettorazo (1999) em seleção de equações de volume e peso seco comercial para *Pinus taeda* localizados em Telêmaco Borba obtiveram a partir de plantios de 6 e 11 anos, DAP de 14,1 cm e 19,4 cm, altura total de 10,6 m e 16,0 m, volume com casca de 0,078 m³ e 0,246 m³.

Klock (2000) e Mendes (2001), que avaliando diferentes espécies de *Pinus* provenientes do mesmo sítio de crescimento em Ventania – PR, obtiveram para o *Pinus taeda* altura total 14,96 m e 15,28 m, diâmetro médio de 28,01 cm e 28,71 e volume médio sem casca de 0,334 m³ e 0,340 m³, para árvores com 10 e 11 anos respectivamente.

Chies (2005) em estudo da qualidade da madeira desta espécie com 21 anos em diferentes espaçamentos, localizados na região de Três Barras - SC, obteve altura média total entre 26,08 m a 27,80 m, diâmetro médio na altura do peito 26,48 cm a 31,12 cm e incremento médio anual entre 1,32 cm/ano a 1,56 cm/ano.

Shimoyama (2005) em análise da qualidade da madeira de *Pinus taeda* com 28 anos, proveniente da região de Sengés – PR, encontrou altura média para o povoamento de 25,20 m e DAP médio de 35,40 cm.

Castelo (2007) em experimento a partir de plantios com 14 e 18 anos em diferentes espaçamentos na região de Piraí do Sul – PR, obteve altura total no intervalo de variação de 16,94 m a 22,86 m e DAP entre 24,67 cm e 30,08 cm.

Siqueira (2004) avaliando a variabilidade da massa específica a partir de diferentes classes de sítio em diferentes idades, provenientes das regiões de Castro, Campo Largo e Guarapuava, obteve altura entre 15,50 m e 33,90 m e DAP no intervalo de 17,8 cm a 47,70 cm.

Oliveira *et al.* (2006) em determinação das propriedades da madeira de *Pinus taeda*, em plantios com 9, 13 e 20 anos, obtiveram para plantios localizados em Sengés – PR, altura média de 12,60 m, 20,40 m e 22,30 m, e DAP médio de 19,80 cm, 27,20 cm e 33,10 cm, respectivamente.

Xavier, Matos e Trianoski (2008) avaliando a variabilidade da massa específica básica a partir de diferentes idades (8, 9, 10, 11, 16 e 17 anos), obtiveram altura total média entre 12,69 m e 21,67 m, altura comercial entre 8,55 m a 18,11 m e diâmetro médio no intervalo de 18,90 cm a 34,00 cm.

Em relação às características da madeira, o *Pinus taeda* apresenta de uma maneira geral, alburno branco amarelado e cerne marrom avermelhado, grã direita, textura média, onde a formação do cerne tem início aos 20 anos de idade (USDA, 1985).

Esta espécie possui traqueóides longos, o que favorece e destaca a espécie como fonte de matéria prima para produção de papel *Kraft* e celulose branqueada (rendimento aproximado de 48% no processo sulfato). Estudos mencionam comprimento médio de traqueóides de 3,80 mm, diâmetro de 32,30 μ m, espessura de parede de 7,50 μ m (SHIMOYAMA, 2005). Nisgoski (2005) encontrou

comprimento médio entre 3,20 mm a 3,48 mm e largura de traqueóides no intervalo de 37,22 μm a 40,42 μm e espessura de parede entre 5,90 μm e 6,67 μm . Andrade (2006) determinou comprimento na faixa de 2,22 mm a 2,78 mm e largura de 36,60 μm a 38,51 μm . Sousa *et al.* (2007) obtiveram comprimento entre 2,55 mm a 3,50 mm, largura de traqueóide entre 51,90 μm a 53,14 μm e espessura de parede de 7,65 μm a 10,70 μm e Castelo (2007) encontrou comprimento de 3,03 mm, diâmetro de 52,08 μm e espessura de parede de 8,84 μm . Já Ballarin e Lara Palma (2003) obtiveram comprimento médio de 4,20 mm para madeira juvenil e 5,32 mm para madeira adulta.

Em relação à massa específica, apresenta para esta propriedade baixos valores (USDA, 1985), no entanto, analisando a diversidade de estudos realizados com esta espécie em função das inúmeras variáveis de influência, pode-se dizer que apresenta massa específica média, podendo-se citar alguns dos valores disponíveis em literatura, como: 0,364 g/cm^3 a 0,467 g/cm^3 (KLOCK, 2000), 0,400 g/cm^3 (MENDES, 2001), 0,370 g/cm^3 (MELCHIORETTO; ELEOTÉRIO, 2003), 0,605 g/cm^3 (BALLARIN; LARA PALMA, 2003), 0,414 g/cm^3 a 0,434 g/cm^3 (CHIES, 2005), 0,501 g/cm^3 (SHIMOYAMA, 2005), 0,367 g/cm^3 a 0,430 g/cm^3 (ANDRADE, 2006), 0,430 g/cm^3 a 0,560 g/cm^3 (OLIVEIRA *et al.* 2006), 0,377 g/cm^3 a 0,440 g/cm^3 (CASTELO, 2007), 0,350 g/cm^3 a 0,460 g/cm^3 (SOUSA *et al.* 2007), 0,351 g/cm^3 a 0,390 g/cm^3 (XAVIER; MATOS; TRIANOSKI, 2008), 0,495 g/cm^3 TRIANOSKI (2010), entre outros.

Considerando a estabilidade dimensional, apresenta contração moderada, onde a tangencial é de aproximadamente 5,90% a 6,20%, e a radial varia de 3,50% a 4,40%, porém, apresenta-se de boa estabilidade quando o processo de secagem é bem conduzido (USDA, 1985). Outros estudos obtiveram os seguintes resultados: de contração tangencial, radial, volumétrica e anisotropia de contração de: 6,95%, 5,24%, 12,19% (KEINERT JUNIOR *et al.*, 1992); 6,77%, 3,87%, 10,58% e 1,83 (KLOCK, 2000), 6,55 % a 7,20 %, 3,21 % a 4,02 %, 9,75 % a 11,11 % e 1,85 a 2,19 (CHIES, 2005).

Em referência a composição química, apresenta extrativos totais de 3,03%, teor de lignina de 28,76%, teor de holocelulose de 68,00% e materiais inorgânicos de 0,17% (KLOCK, 2000). Andrade (2006) encontrou valores entre 2,15% a 2,40%

para extrativos totais, 26,55% a 28,87% para teor de lignina, teor de holocelulose entre 70,70% a 72,73% e materiais inorgânicos no intervalo de 0,23% a 0,28%. Já Trianoski (2010) obteve teor de extrativos totais de 7,37%, teor de lignina de 29,34%, teor de holocelulose de 63,03 e materiais inorgânicos de 0,30%.

A respeito das propriedades mecânicas, a espécie apresenta no ensaio de flexão estática módulo de ruptura de 107,02 MPa e módulo de elasticidade de 13.812 MPa a partir de árvores com 37 anos (BALLARIN; LARA PALMA, 2003). Melchiorretto e Eleotério (2003) obtiveram para plantios de 25 anos módulo de ruptura de 49,0 MPa e módulo de elasticidade de 6.330 MPa em ensaio de flexão estática. Santini, Haselein e Gatto (2000) determinaram valores de 54,52 MPa e 5.941 MPa, para módulos de ruptura e elasticidade a partir de plantios com 13 anos. Brand *et al.* (2004) encontraram módulo de ruptura de 63,76 MPa e módulo de elasticidade de 5.398 MPa, para plantios de 9 anos. Oliveira *et al.* (2006) obtiveram valores de 53,14 MPa a 79,97 MPa para resistência a flexão estática a partir de plantios com idades de 9, 13 e 20 anos. Já Klock (2000) avaliando plantio com 10 anos de idade determinou valores de 60,59 MPa e 7.025,10 MPa para módulos de ruptura e elasticidade a flexão estática, respectivamente.

Em relação ao ensaio de compressão a literatura apresenta valores de 26,74 MPa (MELCHIORETTO; ELEOTÉRIO, 2003), 24,11 MPa a 36,03 MPa (OLIVEIRA *et al.*, 2006) ambos resultados para resistência a compressão e 24,80 MPa e 6.967,20 MPa para módulo de ruptura e módulo de elasticidade, respectivamente (KLOCK, 2000). Já Bortoletto Junior (1999) encontrou para módulo de ruptura 24,90 MPa e módulo de elasticidade de 9.000 MPa em plantios com 23 anos e Santini, Haselein e Gatto (2000) obtiveram módulo de ruptura de 28,54 MPa e módulo de elasticidade de 8.591 MPa, para árvores com 13 anos.

Para a propriedade de cisalhamento, a literatura indica resistência de 11,18 MPa (BORTOLLETO JUNIOR, 1999), 8,53 MPa (SANTINI; HASELEIN; GATTO, 2000), 9,38 MPa (KLOCK, 2000), 11,90 MPa (MELCHIORETTO; ELEOTÉRIO, 2003) e 9,16 MPa (BRAND *et al.*, 2004). Já para a propriedade de dureza, este último autor indica valores médios de 3.433 N e Brand *et al.* (2004) descrevem valores médios de 2.993 N.

Esta espécie apresenta propriedades de colagem intermediárias, onde técnicas têm sido desenvolvidas para se atingir uma colagem aceitável. A impregnação de substâncias preservantes é fácil e tratamentos efetuados sobre pressão proporcionam o aumento da durabilidade da madeira em até 10 vezes (USDA, 1985).

Em termos de utilização, a madeira desta espécie apresenta uma combinação de propriedades, que permite a sua aplicação em uma ampla gama de produtos, sendo utilizado em construções mais leves, laminados, celulose kraft e papel de imprensa, painéis compensados, (USDA,1985), móveis e caixotaria (MARCHIORI, 1996).

A Figura 2.9 apresenta algumas características do *Pinus taeda*.

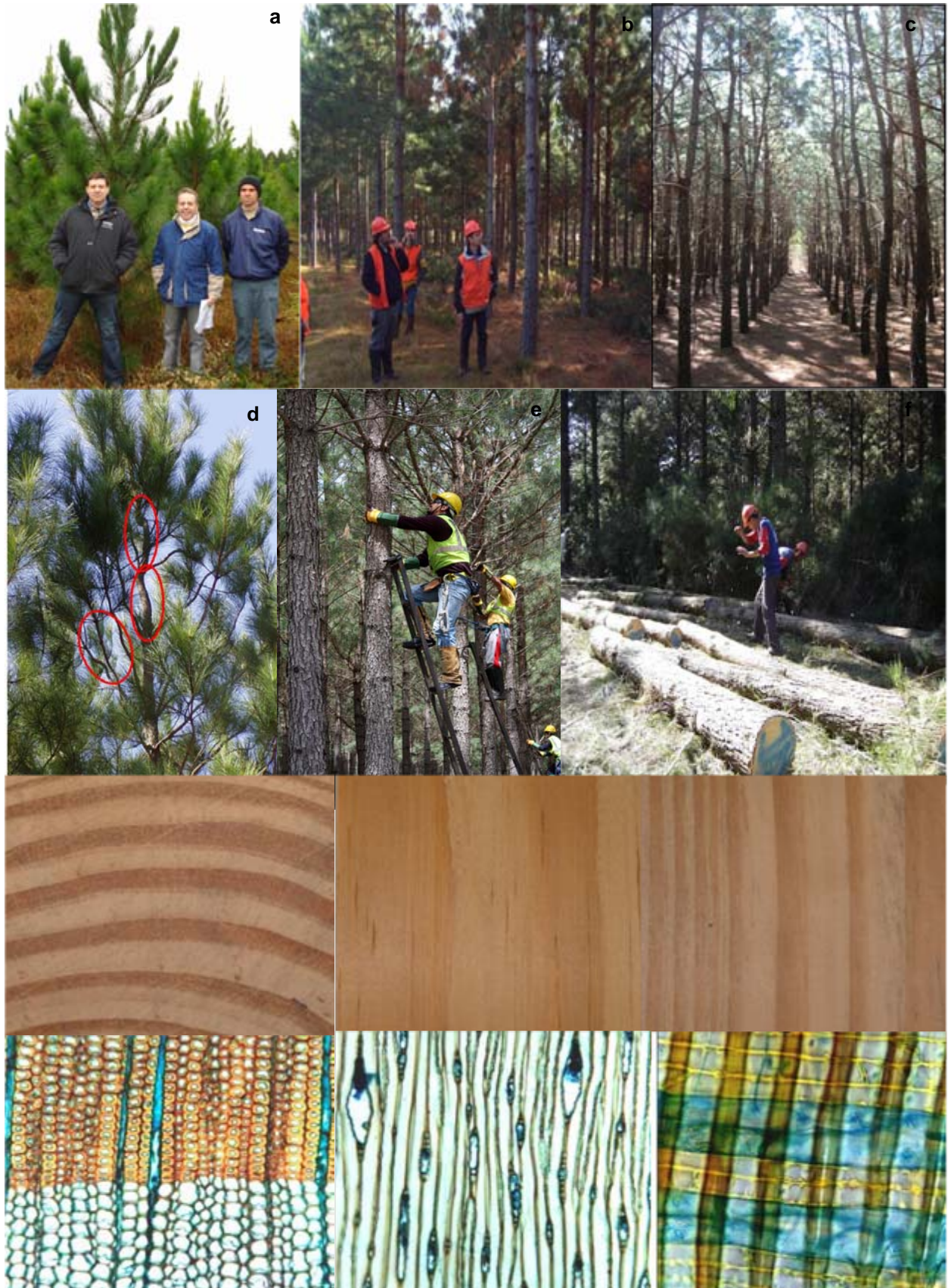


FIGURA 2.9 – CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE *Pinus taeda*

- a) Plantio de 3 anos em Santa Catarina; (CAMCORE, 2010); b) Plantio no Uruguai (CAMCORE, 2010); c) Plantio com deficiência nutricional (ESPINOZA, 2010) d) Sinuosidade (ESPINOZA, 2009); e) Poda alta (LÓPEZ, 2010); f) Coleta de material m Ventania – PR (MATOS, 2007); g, h, i) Fotos macroscópicas nos planos transversal, tangencial e radial (TRIANOSKI, 2011); g, h, i) Fotomicrografia nos planos transversal, tangencial e radial (KLOCK, 2000).

2.3 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, V.C. **Extração de taninos da casca de *Pinus caribaea* var. *caribaea* através da utilização de diferentes solventes.** 29 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.

AMARAL, A.C.; FERREIRA, M.; COUTO, H.T.Z. Métodos de avaliação da densidade básica da madeira de populações de pinheiros tropicais. **IPEF**, n.15, p.47-67, 1977.

ANDRADE, A.S. **Qualidade da madeira, celulose e papel em *Pinus taeda* L.: influência da idade e da classe de produtividade.** 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

ANORUO A. O. Caribbean pine in sustainable tropical Forestry distribution, taxonomy, ecology, biotechnology and silvics. **Journal of Sustainable Forestry**, n. 1, p. 1-23, 1993.

ARONI, A.S.; REZENDE, M.A. Avaliação dos índices de produtividade do híbrido do *Pinus caribaea* var. *hondurensis* x *Pinus tecunumanii*, no Estado de São Paulo. **Energia Agrícola**, v. 22, n.1, p. 17- 32, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE (ABIMCI). **Estudo Setorial 2009:** ano base 2008. Curitiba, 2009. 43 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário estatístico da ABRAF 2011:** ano base 2010. Brasília, 2011. 130 p.

BALLARIN, A.W.; LARA PALMA, H.A. Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. **Árvore**, v.27, n.3, p.371 - 380, 2003.

BANKS, C.H. Some observations on the quality of the timber of South African grown *Pinus caribaea* var., *caribaea* and var. *hondurensis*. **South African Forestry Journal**, n. 102, p. 1-7, 1977.

BARNES, R.D.; WOODEND, J.J.; SCHWEPPENHAUSER, M.A.; MULLIN, L.J. Variation in diameter growth and Wood density in six-years-old provenance trials of *Pinus caribaea* Morelet on five sites in Rodhesia. **Silvae Genetica**, v. 28, n.5-6, p. 163-167, 1977.

BARRETT, W. H. G.; GOLFARI, L. Descripción de las nuevas variabilidades del "Pino del Caribe". **Caribbean Forester**, Porto Rico, v. 23, n. 2, p. 59-71, 1962.

BARRICHELLO, L.E.G. **Estudo das características físicas, anatômicas e químicas da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*** Barr. E Golf. **para a produção de celulose Kraft**. 167 f. Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura Luis de Queiróz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1979.

BARRICHELO, L. E. G; KAGEYAMA, P. Y; SPELTZ, R. M.; BONISH, H. J.; BRITO, J. O.; FERREIRA, M. Estudos de procedências de *Pinus taeda* visando seu aproveitamento industrial. **IPEF**, n. 15, p. 1-14, 1977.

BARRICHELLO, L.E.G.; BRITO, J.O. Variabilidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **IPEF**, n. 18, p. 81-102, 1979.

BARROS, D.A.; MACHADO, S.A.; ACERBI JUNIOR, F.W.; SCOLFORO, J.R.S.; Comportamento de modelos hipsométricos tradicionais e genéricos para plantações de *Pinus oocarpa* em diferentes tratamentos. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 45, p. 3 -28, 2002.

BORTOLETTO JUNIOR, G. **Estudo da qualidade da madeira de *Pinus taeda* L. provenientes de árvores adultas atingidas por incêndio florestal**. 173 f. Tese. (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

BRAND, M.A.; KRAMBECK, L.B.P.; SIMÃO,R.L.; SANQUETTA, C.R.; SASSSO, J.G. Ensaio experimental de espécies do gênero *Pinus* na avaliação das propriedades mecânicas da madeira. In: III ENCONTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2004, Lages, **Anais...** Lages, Universidade do Planalto Catarinense, 2004.

BRASIL, M.A.M.; NICOLIELO, N.; VEIGA, R.A.A. Variação da densidade básica da madeira de *Pinus oocarpa* Schiede em diversas idades na região de Agudos, SP. **Floresta**, v.11, n.1, p. 33 - 40, 1980.

BRITO, J.O.; NUCCI, O. Estudo tecnológico da madeira de *Pinus spp* para a produção de carvão vegetal e briquetagem. *IPEF*, n. 26, p. 25-30, 1984.

BRITO, J.O. **Influência da adubação mineral nas características dos anéis de crescimento da madeira de *Pinus caribaea* var. *bahamensis***. 113 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Universidade de São Paulo, Picacicaba, 1985.

CAMARGO, F. R.; LIMA, M. M.; BARRICHELO, L. E. G. Caracterização da madeira de procedências de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *P. caribaea* var. *caribaea*, *P. kesiya* e *P. oocarpa* para a produção de celulose kraft. **Silvicultura**, v. 41, p. 195-197, 1986.

CAPITANI, L.R.; SPELTZ, G.E.; BRITO, J.O.; BARRICHELI, L.E.G.A. Potencialidade de resinagem de quatro espécies de *Pinus* tropicais, na região de Sacramento – MG, **Circular Técnica**, IPEF, n. 10, 1980, 10p.

CARPANEZZI, A.A.; NEVES, E.J.M.; AGUIAR, A.V.; SOUSA, V.A. Espécies lenhosas alternativas para fins econômicos no Paraná. In: II SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO FLORESTAL E XI SEMANA DE ESTUDOS FLORESTAIS. **Anais...** Unicentro, Irati, 2010.

CARRASCO, N.M. Atributos poblacionales y reproductivos de *Pinus chiapensis* en Chiapas, México. **Anales del Instituto de Biología**, v. 69, n.2, p. 119-134, 1998.

CARVALHO, A.G. **Avaliação de adesivos à base de taninos de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* e de acácia negra na fabricação de painéis aglomerados**. 24 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2010.

CASTELO, P.A.R. **Avaliação da qualidade da madeira de *Pinus taeda* em diferentes sítios de crescimento e espaçamentos, através do método não destrutivo de emissão de ondas de tensão**. 137 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

CASTRO, V.R. **Aplicação de métodos não destrutivos na avaliação das propriedades físicas do lenho de árvores de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* Barr. Et Golf. e *Tectona grandis* (L.f.)**. 104 f. Dissertação (Mestrado em Recursos

Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

CENTRAL AMERICA AND MÉXICO CONIFEROUS RESOURCES COOPERATIVE - CAMCORE. **Annual Report**. Raleigh: Department of Forestry, College of Forest Resources, North Carolina State University, 1996. 29 p.

CENTRAL AMERICA AND MÉXICO CONIFEROUS RESOURCES COOPERATIVE – CAMCORE Colectas de semillas en Centroamérica para la conservación ex situ de algunas poblaciones de pinos. **Boletín de Noticias Camcore para México y Centroamérica**, v. 1, n.4, p.4, 2007a.

CENTRAL AMERICA AND MÉXICO CONIFEROUS RESOURCES COOPERATIVE – CAMCORE Colectas de semillas en Centroamérica para la conservación ex situ de algunas poblaciones de pinos. **Boletín de Noticias Camcore para México y Centroamérica**, v. 1, n.1, p.2, 2007b.

CENTRAL AMERICA AND MÉXICO CONIFEROUS RESOURCES COOPERATIVE – CAMCORE. Análisis y uso de los datos de crecimiento de los ensayos genéticos. **Boletín de Noticias Camcore para México y Centroamérica**, v. 2, n.3, p.4, 2008a.

CENTRAL AMERICA AND MÉXICO CONIFEROUS RESOURCES COOPERATIVE – CAMCORE. Análisis y uso de los datos de crecimiento de los ensayos genéticos. **Boletín de Noticias Camcore para México y Centroamérica**, v. 2, n.3, p.1, 2008b.

CENTRAL AMERICA AND MÉXICO CONIFEROUS RESOURCES COOPERATIVE – CAMCORE. Establecimiento de ensayos de campo y bancos de conservación. **Boletín de Noticias Camcore para México y Centroamérica**, v. 2, n.2, p.5, 2008c.

CENTRAL AMERICA AND MÉXICO CONIFEROUS RESOURCES COOPERATIVE – CAMCORE. Colectas, procesamiento y almacenamiento de semillas. **Boletín de Noticias Camcore para México y Centroamérica**, v. 2, n.1, p.3, 2008d.

CENTRAL AMERICA AND MÉXICO CONIFEROUS RESOURCES COOPERATIVE – CAMCORE. Mantenimiento y medición de los ensayos genéticos. **Boletín de Noticias Camcore para México y Centroamérica**, v. 2, n.3, p.3, 2008e.

CENTRAL AMERICA AND MÉXICO CONIFEROUS RESOURCES COOPERATIVE – CAMCORE. Análisis y uso de los datos de crecimiento de los ensayos genéticos. **Boletín de Noticias Camcore para México y Centroamérica**, v. 3, n.1, p.3, 2009a.

CENTRAL AMERICA AND MÉXICO CONIFEROUS RESOURCES COOPERATIVE – CAMCORE. **Annual Report**, Department of Forestry and Environmental Resources, North Carolina State University, Raleigh, 2010, 46 p.

CENTRAL AMERICA AND MÉXICO CONIFEROUS RESOURCES COOPERATIVE – CAMCORE. 2012. Disponível em: <<http://www.camcore.org>>. Acesso em 10/01/2012.

CHIES, D. **Influência do espaçamentos sobre a qualidade e o rendimento da madeira serrada de *Pinus taeda* L.** 123 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

CHUDNOFF, M. Tropical Timbers of the World. **Agriculture Handbook**, Washington: USDA. 1984. 466 p.

CONIFERS. Disponível em: <http://www.conifers.org/pi/Pinus_caribaea.php> Acesso em 16/02/2012.

CORDERO, J. BOSHIER, D.H. **Arboles de Centroamérica**: um manual para extensionistas. Turrialba, CATIE, 2003, 1080 p.

CORNACHIA, G.; CRUZ, C. D.; BORGES, R. C. G.; PIRES, I. E.; LOBO, P. R.; **Variabilidade genética entre e dentro de procedências de pinheiros tropicais.** Disponível em: <<http://www.webnotes.sct.embrapa.br/pab/pab>>. Acesso em 15/12/2011.

CORREA, R.S. **Efeito dos atributos do solo na produtividade e qualidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.** 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

COUTO, H.T.Z.; VETTORAZO, S.C. Seleção de equações de volume e peso seco comercial para *Pinus taeda*. **Cerne**, v. 5, n.1, p. 69-80, 1999.

DEL CASTILLO, R. F. Ethnobotanical notes on *Pinus strobus* var. *chiapensis*. **Anales del Instituto de Biología**, v. 73, n. 2, p. 319-327, 2002.

DENDROPRESS. Disponível em: <http://www.dendropress.com/index> > . Acesso em 16/02/2012.

DONAHUE, J.K.; DVORAK, W.S.; GUTIÉRREZ, E.A. The distribution, ecology and gene conservation of *Pinus ayacahuite* and *Pinus chiapensis* in MÉXICO and Central America - CAMCORE. **Bulletin on Tropical Forestry**, v.8, p. 1-28,1991.

DVORAK, W. S.; DONAHUE, J. K. *Pinus maximinoi* seed collections in México and Central América – **CAMCORE Technical Bulletin**, n.4, 1988, 47 p.

DVORAK, W.S.; KELLISON, R.C. Annotated bibliography on the wood properties of *Pinus tecunumanii*. **Bulletin on Tropical Forestry**, v. 9, p. 1-16,1991.

DVORAK, W.S.; DONAHUE, J.K. **CAMCORE Cooperative Research Review 1980-1992**. Department of Forestry College of Forest Resource North Carolina State University.1992.

DVORAK, W. S.; WRITH, J. A. Offspring-parent correlations for wood density of *Pinus tecunumanii* in between native and exotic environments. **Canadian Journal of Forest Research**, v.24, p. 1593 - 1596, 1994.

DVORAK, W.S; GUTIÉRREZ, E.A.; GAPARE, W.J.; HODGE, G.R.; OSORIO, L.F.; BESTER,C.; KIKUTI, P. *Pinus maximinoi* – *Pinus tecunumanii* In: **Conservation & Testing of Tropical & Subtropical Forest Tree Species**. CAMCORE Cooperative, College of Natural Resources, 2000. p. 107-127.

DVORAK, B. **Boletín de Noticias Camcore para México y Centroamérica**, v. 2, n.1, p.2, 2008.

DVORAK, B. Estudio de *P. maximinoi* de segunda generación en Sur Africa. **Boletín de Noticias Camcore para México y Centroamérica**, v. 4, n.1, p.4, 2010.

EGUILUZ-PIEDRA, T.; PERRY, J.P. *Pinus tecunumanii*; uma espécie nueva de Guatemala. **Ciência Florestal**, v. 8, n.41, p. 3-22, 1983.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no Estado do Paraná**. Brasília, 1986. 89 p.

ETTORI, L. C. ; SEBBEN, A. M. ; SATO, A. S. ; MORAIS, E. . Teste de procedências de *Pinus oocarpa* Schiede em três locais do Estado de São Paulo. **Revista do Instituto Florestal**, v. 14, n. 1, p. 39-51, 2002.

ESPINOZA, J.A. Efecto de la silvicultura y la genética en la deformación del fuste (sinuosidad) en árboles forestales. **Boletín de Noticias Camcore para México y Centroamérica**, v. 3, n.2, p. 3-4, 2009.

ESPINOZA, J.A. Efecto del manejo silvicultural intensivo de las plantaciones forestales en las propiedades de la madera. **Boletín de Noticias Camcore para México y Centroamérica**, v. 4, n.1, p.1e 5, 2010.

FIER, I.S.N. **Variação genética e métodos de melhoramento para *Pinus maximinoi* H.E.Moore em Telemaco Borba (PR)**. 46 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

FLORSHEIM, S.M.B. **Curvas de isopropriedades da madeira de árvores de *Pinus Caribaea* var. *bahamensis***. 225 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

FOELKEL, C.E.B.; BRASIL, M.A.M.; BARRICHELO, L.E.G. Métodos para a determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. **IPEF**, n. 2-3, p. 65-74, 1971.

FOELKEL, C. E.B.; BARRICHELO, L.E.G.; AMARAL, A.C.B.; VALLE, C.F. Variações das características da madeira e propriedades da celulose sulfato de *Pinus oocarpa* em função da idade do povoamento florestal. **IPEF**, n. 10, p. 81-87, 1975.

FOELKEL, C. Os *Pinus* no Brasil: *Pinus caribaea* e suas três variedades: *caribaea*, *bahamensis* e *hondurensis*. **Pinus Letter**, n. 8, 2008. Disponível em: <http://www.celso-foelkel.com.br/pinus_8.html>. Acesso em 14/01/2012.

FRAGA, D. B; SILVA JUNIOR, F. G.; GONÇALEZ, J. C. **Avaliação da polpação de *Pinus taeda* com adição de antraquinona**. Disponível em:

<<http://www.celuloseonline.com.br/imagembank/Docs/DocBank/dc/dc093>>. Acesso em 01/03/2009.

FRANCIS, J. K. **The Luquillo Experimental Forest Arboretum**. Res. Note SO-358. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 1989. 8 p.

FRANCIS, J.K. *Pinus caribaea* Morelet. **Caribbean pine**. New Orleans: Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 1992. 10p.

FRANCIS, J.K. *Pinus caribaea* Morelet. Disponível em: <<http://www.fs.fed.us/global/iitf/Pinuscaribaea.pdf> 2008>. Acesso em 22/12/2010.

FREITAS, M.L.M.; SEBBENN, A.M.; MARAIS, E.; ZANATTO, A.C.S.; SOUSA, C.M.R.; LEMOS, S.V.; Parâmetros genéticos em progênies de polinização aberta de *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, aos 22 anos de idade. **Revista do Instituto Florestal**, v. 17, n. 1, p. 103-111, 2005.

GAPARE, W.J.; HODGE, G.R.; DVORAK, W.S. Genetic parameters and provenance variation os *Pinus maximinoi* in Brazil, Colombia and South Africa. **Forest Genetics**, v. 8, n. 2, p. 159-170, 2001.

GIBSON, G. L. A review of provenance testing of commercially important tropical pines. In: SIMPÓSIO SOBRE SILVICULTURA Y MEJORAMIENTO GENÉTICO DE ESPÉCIES FORESTALES, 1, 1987, Buenos Aires. **Anais...** Buenos Aires: CIEF, 1987. p. 29-61.

GODOY, E.A.; RODRIGUES, J.C.C.; ALVES, A.M.M.; LAZO, D.A. Estudio del contenido y la calidad de la lignina mediante pirólisis analítica en madera de *Pinus caribaea*. **Maderas, Ciencia e Tecnologia**, v. 9, n. 2, p. 179-188, 2007.

GOLFARI, L. Coníferas aptas para repoblaciones forestales en el Estado de São Paulo. **Silvicultura**, v. 6, p. 7-62, 1967.

GOLFARI, L. Distribución geográfica de las plantaciones de *Pinus caribaea* Morelet en Argentina, Uruguay, Paraguay y Brasil. In: JORNADAS SOBRE *Pinus caribaea*, Eldorado, 1991. **Anais...** Buenos Aires: CIEF, 1991. 299 p.

GONÇALEZ, J.C.; VIEIRA, F.S.; CAMARGOS, J.A.A.; ZERBINI, N.J. Influência do sítio nas propriedades da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Cerne**, v. 15, n. 2, p. 251-255, 2009.

GREEN, S.J.C.E. **The Caribbean Pine** (*Pinus caribaea* var. *bahamensis*): **monitoring and ecology, in the Turks and Caicos Islands**. 64 f. Tesis (Master of Science), London, 2011.

GURGEL GARRIDO, L. M. A.; ROMANELLI, R. C.; GARRIDO, M. A. O. Variabilidade genética de produção de resina, DAP e altura em *Pinus caribaea* Mor. var. *bahamensis*. Barr. et Golf. **Revista do Instituto Florestal**, v. 8, n. 1, p. 89-98, 1996.

HERAS, J. ; BONILLA, M.; MARTÍNEZ, L. W. Germination after heats treatments of *Pinus tropicalis* Morelet and *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* seeds of west Cuban forest. **Annales Forester Science**, n. 63, p. 469-475, 2006.

HODGE, G.R.; DVORAK, W. S. Genetic parameters and provenance variation of *Pinus tecunumanii* in 78 international trials. **Forest genetics**, v. 6, n.3, p. 157-180, 1999.

HODGE, G. R.; DVORAK, W. S. Genetic parameters and provenance variation of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* in 48 international trials. **Canadian Journal Forest Resources**, v. 31, p. 496-511, 2001.

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS (IPEF). **Boletim informativo**, v.4, n.13, 1976, 61 p.

ISAZA, N. Promoción de floración en huertos semilleros de *Pinus maximinoi* y *Pinus tecunumanii* en Colombia. **Boletín de Noticias Camcore para México y Centroamérica**, v. 3, n.2, p.1, 2009.

IWAKIRI, S.; OLANDOSKI, D.P.; LEONHARDT, G.; BRAND, M.A. Produção de chapas de madeira compensada de cinco espécies de *Pinus* tropicais. **Ciência Florestal**, v. 11, n. 2, p. 71-77, 2001.

IWAKIRI, S. DEL MENEZZI, C.S.; LAROCA, C.; VENSOS, I.; MATOSKI, S.S. Produção de compensados de *Pinus taeda* e *Pinus oocarpa* com resina fenol-formaldeído. **Cerne**, v. 8, n. 2, p. 92-97, 2002.

IWAKIRI, S.; MATOS, J.L.M.; LIMA, A.J.M.; FERREIRA, E.S.; BATISTA, D.C.; ROMÃO, S.A.A. Produção de painéis compensados de *Pinus* tropicais colados com resina fenol-formaldeído. **Floresta**, v. 39, n. 3, p. 669-673, 2009.

IWAKIRI, S.; MANHIÇA, A.A.; PARCHEN, C.F.A.; CIT, E.J.; TRIANOSKI, R. Use of Wood from *Pinus caariabea* var. *caribaea* and *Pinus caribaea* var. *bahamensis* for production of particleboard panels. **Cerne**, v. 16, n. 2, p. 193-198, 2010.

JOHNSTON, A. J; DIETERS, M. J, DUNGEY, H. S & NILLES, D. G. Intraspecific hybridization in *Pinus caribaea* var. *hondurensis* II. Genetic parameters. **Euphytica**, v. 129, n. 2, p. 159-168, 2003.

JONES, P. D.; SCHIMLECK, L. R.; MPETER, G. F.; DANIELS, R. F & CLARK A. Nos destructive estimation os *Pinus taeda* L tracheid morphological characteristics for samples from a wide range of sites Geórgia. **Wood Science Technology**, v. 39, n.7, p. 529- 545, 2005.

KAGEYAMA, P.Y.; VENCOSKY, R.; FERREIRA, M.; NICOLIELO, N. Variação genética entre procedências de *Pinus oocarpa* Schiede na região de Agudos – SP. **IPEF**, n.14, p.77-120, 1977.

KEINERT JUNIOR, S.; ROZAS, E.C.E.; ESTURION, J.A.; MATSUNAGA, D.K.; MICHAQUE, M.A.M.; RINCOSKI, C.R. Relação entre a contração e o teor de umidade da madeira de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, em vários ângulos de grã. **Ciência Florestal**, v.2, n.1, p. 81-86, 1992.

KIETZKA, J.E. *Pinus maximinoi*: a promising species in South Africa. **South African Forestry Journal**, n. 145, p. 33-38, 1988.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira de *Pinus oocarpa* Schiede e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*** Barr e Golf. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

KLOCK, U. **Qualidade da Madeira de *Pinus maximinoi* H. E. Moore**. 291 f. Tese, (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

KOCH, P. Utilization of the Southern pines. Madison: USDA, Forest Service Agricultural. **Handbook**, 1972, 420 p.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos**: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas – possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado. Rossdorf: TZ – Verl.- Ges. 343 p. 1990.

LÓPEZ, J. Reunión anual de Camcore en Uruguay 2009. **Boletín de Noticias Camcore para México y Centroamérica**, v. 4, n.1, p. 3, 2010.

MALAN, F.S. The wood quality of *Pinus chiapensis* (Mart.) Andresen grown in the Mpumalanga forest region. **Southern African Forestry Journal**, n. 192, p. 51–58, 2001.

MALAN, F.S. The wood properties and sawn-board quality of. South African- grown *Pinus maximinoi* (HE Moore). **Southern African Forestry Journal**, n. 208, p. 39-47, 2006.

MARCHIORI, J. N. D. **Dendrologia das gimnospermas**. Santa Maria: Ed. da UFSM, 1996. 158 p.

MARTINS, O. **Estudo de ligações por conectores de chapas com dentes estampados em peças estruturais de madeira**. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Ilha Solteira, 2007.

MARTO, G.B.; BARRICHELO, L.E.G.; MULLER, P.C.H. Indicações para a escolha de espécies de *Pinus*. Disponível em: <http://www.ipef.br/esolha_pinus>. Acesso em 13/01/2012.

MATOS, J. L. M. **Estudo sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *P. taeda***.117f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

MATOS, J. M. M. Coletânea de fotos adquiridas em campo – VALOR FLORESTAL, 2006.

MATOS, J. M. M. Coletânea de fotos adquiridas em campo – VALOR FLORESTAL, 2007.

MELCHIORETTO, D.; ELEOTÉRIO, J.R. Caracterização, classificação e comparação da madeira de *Pinus patula*, *P. elliottii* e *P. taeda* através de suas

propriedades físicas e mecânicas. Congresso Regional De Iniciação Científica e Tecnológica, XVIII, 2003, Blumenau, SC. **Anais...** Blumenau, 2003. Disponível em: <<http://200.169.53.89/download/CD%20congressos/2003/CRICTE>> Acesso em: 02/02/2012.

MENDES, L.M. *Pinus spp. na produção de painéis de partículas orientadas (OSB)*. 163 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

MENDES, L. M.; SILVA, J. R. M.; TRUGILHO, P. F. & LIMA, J. T. Densidade da madeira de *Pinus oocarpa* Schiede no sentido longitudinal dos caules. **Cerne**, v. 5, n. 1, 2001.

MISSIO, R.F.; CAMBUIM, J.; MORAES, M.L.T.; PAULA, R.C., Seleção simultânea de caracteres em progênie de *Pinus caribaea* Morelet var. *bahamensis*. **Scientia Forestalis**, n. 66, p. 161-168, 2004a.

MISSIO, R.F.; DIAS, L.A.S.; MORAES, M.L.T.; RESENDE, M.D.V. Selection of *Pinus caribaea* var. *bahamensis* progênies based on the predicted genetic value. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 4, p. 399-407, 2004b.

MISSIO, R.F. **Variação genética em progênies de *Pinus caribaea* Morelet var. *bahamensis***. 129 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, 2004.

MISSIO, R.F.; MORAES, M.L.T; DIAS, L.A.S. Efeito do desbaste seletivo sobre a divergência genética em progênies de *Pinus caribaea* Morelet var. *bahamensis*. **Scientia Forestalis**, n. 73, p. 27-36, 2007.

MONTAGNA, R.G.; BARBOSA, O.; BRASIL, M.A.M; VEIGA, R.A.A.; TOLEDO FILHO, D.V. Peso da matéria seca, densidade básica e dimensões de fibras de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Silvicultura**, n. 32, p. 837-840, 1983.

MORAES, M.L.T. **Variação genética e aplicação de análise multivariada em progênies de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* Barrett e Golfari**. 124 f. Tese (Livre Docência em Silvicultura) – Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, 2001.

MORAES, M.L.T.; MISSIO, R.F.; SILVA, A.M.; CAMBUIM, J.; SANTOS, L.A.; RESENDE, M.D.V. Efeito do desbaste seletivo nas estimativas de parâmetros genéticos em progênies de *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis*. **Scientia Forestalis**, n. 74, p. 55-65, 2007.

MORAES NETO, S.P.; DUBOC, E. Parâmetros genéticos da densidade básica da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, n. 213, 2008, 18p.

MORAES NETO, S.P.; MELO, J.T. Parâmetros genéticos da densidade básica da madeira de *Pinus oocarpa*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 212, 2008, 18 p.

MORAES NETO, S.P.; TELES, R.F.; RODRIGUES, T.O. Caracterização da madeira de cinco procedências de *Pinus tecunumanii* implantadas no Cerrado do Distrito Federal. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, n. 233, 2009, 30 p.

MORAES NETO, S.P.; TELES, R.F.; RODRIGUES, T.O.; VALE, A.T.; SOUZA, M.R. Propriedades mecânicas de cinco procedências de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* implantadas no cerrado do Distrito Federal, DF. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, n. 251, 2009, 20 p.

MORAES NETO, S.P.; MELO, J.T.; TELES, R.F.; RODRIGUES, T.O. Variação das propriedades físicas da madeira de cinco procedências de *Pinus tecunumanii* no Cerrado do Distrito Federal. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, n. 252, 2009b, 20 p.

MORAIS, S. A. L., NASCIMENTO, E. A. & MELO, D. C Análise da madeira de *Pinus oocarpa*. Parte I – estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis. **Árvore**, v. 29, n. 3, 2005.

MOURA, V. P. G. & DVORAK, W. S. Provenance and family variation of families of *Pinus tecunumanii*, grown in the Brazilian Cerrado. **Forest Genetic**, v. 5, n.3, p. 137-145, 1998.

MOURA, V. P. G.; PARCA, M. L. S; SILVA, M. A. Variação da densidade básica da madeira de espécies e procedências de *Pinus* centro-americanos em três locais na região dos Cerrados. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 22-23, p.29-44, 1991.

MOURA, V.P.G.; OLIVEIRA, J.B.; REZEK, J.J. Variabilidade e ganho genético em progênies de meio irmãos de *Pinus patula* spp. *tecunumanii* em Planaltina – DF. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ECOSISTEMAS FLORESTAIS, 4, 1996. Belo Horizonte, **Anais...** Belo Horizonte, Sociedade Brasileira para a valorização do meio ambiente, 1996, p. 230-233.

MOURA, V. P. G.; DVORAK, W. S. & NOGUEIRA, M. V. P. Variação da densidade da madeira, volume e matéria seca do tronco de *Pinus tecunumanii*, procedência de Mount Pine Ridge, Belize, em Planaltina, Distrito Federal, Brasil. **Scientia Forestalis**, n.57, p. 7-14, 1998.

MOURA, V.P.G.; DVORAK, W. S; HODGE, GR Provenance and family variation of families of *Pinus oocarpa* Schiede, grown in the Brazilian Cerrado. **Forest Ecology and Management**, v. 109, p. 315-322, 1998.

MOURA, V.P.G.; DVORAK, W.S. Provenance and family variation of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* from Guatemala and Honduras, grown in Brazil, Colombia and Venezuela. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 2, p. 225-234, 2001.

MOURA, V.P.; VALE, A.T. Variabilidade genética na densidade básica da madeira de *Pinus tecunumanii* procedente do México e da América Central no cerrado. **Scientia Forestalis**, n. 62, p. 104-113, 2002.

MOURA, V.P.G.; VALE, A.T.; ISAIAS, F.B. Comparação entre dois métodos de avaliação da variabilidade genética em volume, densidade básica da madeira e matéria seca de *Pinus tecunumanii* (Schwd) Eguluz e Perry. **Ciência Florestal**, v. 14, n.1, p. 77-84, 2004.

MOURA, V. P. G.; VALE, A. T.; OLIVEIRA, I. R. M. Caracterização Física e Mecânica da madeira de *Pinus tecunumanii* com vistas à produção de móveis. **Circular Técnica**, n. 43, Embrapa. Brasília DF, 2005a.

NEWTON, A.C.; ALLNUTT, T.R.; DVORAK, W.S.; DEL CASTILLO, R.F.; ENNOS, R.A. Patterns of genetic variation in *Pinus chiapensis*, a threatened Mexican pine, detected by RAPD and mitochondrial DNA RFLP markers. **Heredity**, v. 89, p. 191-198, 2002.

NIGOSKI, S. **Espectroscopia no infravermelho próximo no estudo de características da madeira e papel de *Pinus taeda* L.** 160 f. Tese (Doutorado em

Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

OLIVEIRA, R. C. ; FOELKEL, C. E. B. ; GOMIDE, J. L. . Propriedades Físico-Mecânicas de Celulose Kraft Obtidas por Cozimentos Conjuntos de Madeiras de *Pinus strobus* var. *Chiapensis* e *Eucalyptus urophylla*, de Origem Híbrida. *Árvore*, v. 4, n. 2, p. 188-202, 1980.

OLIVEIRA, F. L.; LIMA J. N., GARCIA, J. N., FLORSHEIM, S. M. B. Propriedades da madeira de *Pinus taeda* L. em função da idade e da posição radial na tora. **Revista do Instituto Florestal**, v. 18, p. 59-70, 2006.

PAIVA, H.N. Implantação de florestas econômicas. In: OLIVEIRA, J.T.S.; FIEDLER, N.C.; NOGUEIRA, M. **Tecnologias aplicadas ao setor florestal brasileiro**. Jerônimo Monteiro: 2007. P. 59-106..

PELISSARI, A.L.; LANSSANOVA, L.R.; DRESCHER, R. Modelos volumétricos para *Pinus* tropicais, em povoamento homogêneo, no estado de Rondônia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 6, p. 173-181, 2011.

PIMENTEL, L.L. **Telhas onduladas à base de cimento portland e resíduos de *Pinus caribaea***. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

PINTO JR, J.E.; KAGEYAMA, P.Y.; JACOB, W.S. Centro de Conservação Genética e Melhoramento de Pinheiros Tropicais – C.C.G.M.P.T. – Desenvolvimento do programa. **Circular Técnica**, IPEF, n. 51, 1979.

PLUMPTRE, R.A. *Pinus caribaea*: Wood properties. **Tropical Forestry Paper**, n.17, Unit of Tropical Silviculture, Commonwealth Forestry Institute, University of Oxford. 1984, 148 p.

PRATA, J.G. **Estudo da viabilidade tecnológica do uso de espécies de *Pinus* tropicais para produção de painéis colados lateralmente (*Edge Glued Panels – EGP*)** 114 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

QUINTANA, Y.G.; BRITO, E.A.; NOLAZCO, E.G. Ensayo de procedências de *Pinus caribaea* var. *caribaea* en alturas de pizarras, viñales, Pinar del Río, Cuba. **Revista Chapingo**, v. 13, n. 2, p. 125-129, 2007.

REBOLLEDO, V. *Pinus: Em El Trópico?* Instituto de Investigaciones Forestales, Universidad Veracruzana, 2011, 2p.

RESINA DE PINUS. <http://resinadepinus.blogspot.com/2008/07/resinagem-fotos.html>. Acesso em 16/02/2012.

REZENDE, M. A.; SAGLIETTI, J. R. C.; GUERRINI, I. A. Estudo das interrelações entre massa específica, retratibilidade e umidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* aos 8 anos de idade. **IPEF**, n. 48-49, p. 133-141, 1995.

REZENDE, M.A.; SEVERO, E.T.D.; QUINTANA, I.R. Estudo das variações da massa específica em *Pinus oocarpa* através da técnica de atenuação de radiação gama. **Floresta**, v. 29, n.1, p. 67-84, 1999.

RIBEIRO, P. G. **Utilização de técnicas não destrutivas para caracterização de madeiras de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e de *Eucalyptus grandis***. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

ROYAL BOTANIC GARDENS. Disponível em: <<http://dps.plants.ox.ac.uk/bol>>. Acesso em 16/02/2012.

RRAGROFLORESTAL. Disponível em: <<http://www.rragroflorestal.com.br/picture>>. Acesso em 16/02/2012.

SAMPAIO, P.T.B. **Varição genética entre procedências e progênies de *Pinus oocarpa* Schiede, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. & Golf. e *Pinus maximinoi* H. E. Moore e métodos de seleção para melhoramento genético**. 169 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996.

SAMPAIO, P. T. B.; RESENDE, M. D V. & ARAUJO, A. J. Estimativa de parâmetros genéticos e métodos de seleção para o melhoramento genético de *Pinus oocarpa* Schiede. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 3,7 n.5, 2002.

SANSÍGOLO, C. A.; BARREIROS, R. M. Estudo comparativo das madeiras de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa* para produção de celulose Kraft. In: III CONGRESSO IBEROAMERICANO EN CELULOSA Y PAPEL, 2004, Cordoba. **Anais...** CIADICYP, 2004.

SANTINI, E.J.; HASELEIN, C.R.; GATTO, D.A. Análise comparativa das propriedades físicas e mecânicas da madeira de três coníferas de florestas plantadas. **Ciência Florestal**, v.10, n.1, p.85-93 85, 2000.

SANTOS, P.E.T.; MARTINI, S.L.; SANTOS, M.M.F.B. Centro de Conservação Genética e Melhoramento de Pinheiros Tropicais. Circular Técnica, IPEF, n.161, 1988, 5 p.

SCHUCKAR. Disponível em: <<http://www.schuckar.com.br/template>>. Acesso em 16/02/2012.

SEBBENN, AL.M.; FREITAS, M.L.M.; MORAIS, E. ZANATTO, A.C.S.; Variação genética em procedências de *Pinus patula* spp. *tecunumanii* no Noroeste do estado de São Paulo. **Revista do Instituto Florestal**, v. 17, n.1, p. 1-15, 2005.

SEBBENN, A.M. VILAS BOAS, O.; MAX, J.C.M. Variação genética, herdabilidades e ganhos na seleção para caracteres de crescimento em teste de progênes de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* aos 20 anos de idade em Assis-SP. **Revista do Instituto Florestal**, v. 20, n. 2, p. 103-115, 2008.

SEBBENN, A.M.; VILLAS BOAS, O.; MAX, J.C.M.; FREITAS, M.L.M. Estimativa de parâmetros genéticos e ganhos na seleção para caracteres de crescimento em teste de progênes de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, em Assis –SP. **Revista do Instituto Florestal**, v. 22, n. 2, p. 279-288, 2010.

SERPE, E.L.; WATZLAWICK, L.F. Avaliação de incremento diamétrico inicial em diferentes espécies de *Pinus* na região de Santa Maria do Oeste (PR). **Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia**, v.2, n.3, p. 77-101, 2009.

SHIMIZU, J. Y. Cultivo do *Pinus*, **Sistemas de Produção**, n. 5, Embrapa Florestas, 2005.

SHIMIZU, J.Y.; SEBBENN, A.M. Espécies de *Pinus* na silvicultura brasileira. In: SHIMIZU, J.Y. (Ed.). **Pinus na silvicultura brasileira**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. p. 49-74.

SHIMOYAMA, V. R. S.; WIECHETECK, M. S. S. Características da madeira e da pasta termomecânica de *Pinus patula* var. *tecunumanii* para produção de papel imprensa. **IPEF**, v. 9, n. 27, p. 63-80, 1993.

SHIMOYAMA, V.R.S. **Estimativas de propriedades da madeira de *Pinus taeda* através do método não destrutivo de emissão de ondas de tensão, visando a geração de produtos de alto valor agregado**. 151 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

SILVA, J.M. **Análises genéticas em progênies de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* por caracteres quantitativos e marcadores moleculares**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista Julio Mesquita, Ilha Solteira, 2005.

SIQUEIRA, K.P. **Variabilidade da massa específica de *Pinus taeda* L. em diferentes classes de sítios**. 42 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA (SBS). **Fatos e números do Brasil Florestal – 2007**. 2008. Disponível em: <www.sbs.org.br>. Acesso em: 15/01/2012.

SOUSA, R.C.; GIOVANINI, E.P.; FLORSHEIM, S.M.B.; GARCIA, J.N. Efeito da idade e da posição radial na densidade básica e nas dimensões dos traqueóides da madeira de *Pinus taeda* L. **Revista do Instituto Florestal**, v. 19, n. 2, p. 119-127, 2007.

SOUZA, M.R.; VICENTE, A.T.V.; MOURA, V.P.G.; FIORENTINI, E.A. Análise de parâmetros anatômicos de traqueóides axiais das madeiras de quatro procedências de *Pinus*. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, n. 97, 2005, 22 p.

SOUZA, F. **Propriedades mecânicas, físicas, biológicas e avaliação não destrutiva da painéis de laminas paralelas (LVL) com madeira de *Pinus oocarpa* e *Pinus Kesiya***. 133f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

SUASSUNA, J. A cultura do *Pinus*: uma perspectiva e uma preocupação. **Brasil Florestal**, n. 29, 1977.

TANG, W.; NEWTON, J.N. Loblolly Pine (*Pinus taeda*). **Protocol for somatic embryogenesis in wood plants**, p. 95-106, 2005.

TIGHE, M.E. **Manual de Recolección y Manejo de Polen de Pinos** Tropicales y subtropicales Procedentes de Rodales Naturales. 2004 20p.

TORRES, L.F.; MELO, R.; COLODETTE, J.L. Bleached Kraft Pulp Production From *Pinus Tecunumanii* (Eguiluz E Perry). **Árvore**, v. 29, n. 3, p. 489-494, 2005.

TRIANOSKI, R. **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada** 262 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

TRIANOSKI, R. Coletânea de fotos adquiridas em campo e laboratório.2011.

UPTON, J. L.; DONAHUE, J. K. *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen. Part II - Species description, p. 612-614, 2003.

USDA **The Southern Pines**: An American Wood United States. Department of Agriculture FS-256 11p. 1985.

VALE, A.T.; ROCHA, L.R.; DEL MENEZZI, C.H.S. Massa específica básica da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* cultivado em cerrado. **Scientia Forestalis**, v. 37, n. 84, p. 387 - 394, 2009.

VALERI, S. V.; SOARES R. V. e MONTEIRO, R. F. R. Exportação de biomassa de povoamentos de *Pinus taeda* L. desbastados em diferentes idades. **Floresta**, v.19, n.1-2, p. 23-29, 1989.

VARGAS, N.N.S.; SÁNCHEZ, R.F.C. Calidad de estación para *Pinus chiapensis* (Mart.) Andresen em El Rincón, Oaxaca, México. **Foresta Veracruzana**, v. 3, n.2, p. 9-12, 2001.

VERARBOLES. Disponível em: <<http://www.verarboles.com>>. Acesso em 16/02/2012.

VICENTE, A.T.V.; MOURA, V.P.G.; FIORENTINI, E.A.; SOUZA, M.R. Variação radial e axial da massa específica básica e das contrações de madeira de quatro procedências de *Pinus*. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, n. 28, 2005. 27 p.

VIEIRA, A.H.; SHIMIZU, J.Y. Avaliação do potencial de produtividade da madeira de *Pinus tecunumanii* no sul de Rondônia. **Boletim de Pesquisa**, n. 24, 1998, 16p.

VIEIRA, M.C.; LELIS, R.C.C.; SILVA, B.C.; OLIVEIRA, G.L. Tannin extration from the bark of *Pinus oocarpa* var. *oocarpa* with sodium carbonate and sodium bisulfite. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n.1, p. 1-8, 2011.

WALKER, J. C. F. **Primary wood processing: principles and practice**. Chapman e Hall. 1983. 595p.

WANG, H.; MALCOLM, D.C.; FLETCHER, A.M. *Pinus caribaea* in China: introduction, genetic resources and future prospects. **Forest Ecology and Management**, v.117, p.1-15, 1999.

WRIGHT, J.A.; GIBSON, G.L.; BARNES, R.D. Variation in stem volume and wood density of *P. caribaea*, *P. oocarpa* and *P. patula* ssp. *tecunumanii* in Zambia. **Commenweath Forestry Review**, v. 65, n.1, p. 202, 1986.

WRIGHT, J. A. Variation in wood properties of *Pinus oocarpa* and *P. patula* ssp. *tecunumanii* provenances at six sites. **Silvae genetica** v. 39, n. 1, 1990.

WRIGHT, J.A., MALAN, F.S. Variation in wood and tracheid properties of *Pinus maximinoi*, *P. pseudostrobus* and *P. patula*. **IAWA**, v.12, n.4, p. 467 - 475, 1991.

WRIGHT, J.A.; WESSELS, A. Laboratory scale pulping of *Pinus pseudostrobus*, *Pinus maximinoi* e *Pinus patula*. **IPEF Internacional**, v. 2, p. 39-44, 1992.

WRIGHT, J.A.; BAYLIS, B. Volume, pulp and paper-making traits of *Pinus maximinoi* provenances planted at two sites in South Africa. **South African Forestry Journal**, n.165, p.37-40, 1993.

WRIGHT, J.A.; MARIN, A.M.; DVORAK, W.S. Conservation and use of the *Pinus chiapensis* genetic resource in Colombia. **Forest Ecology And Management**, v. 8, n.3, p. 283-288, 1996.

WRIGHT, J.A.; JAMEEL, H.; DVORAK, W. Laboratory kraft pulping of juvenile tropical pines : *Pinus patula*, *P. tecunumanii*, *P. maximinoi*, and *P. chiapensis*. **TAPPI Journal**, v. 79, n.4, p. 187-191, 1996.

XAVIER, J. A.; MATOS, J. L. M.; TRIANOSKI, R. Variabilidade da massa específica básica de *Pinus taeda* L. em diferentes idades de plantio In: I SIMADERJ - SIMPÓSIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Anais...** Seropédica, UFRRJ, 2008. 1 CD-ROM.

ZENID, G.J. Madeiras e suas características. In: OLIVEIRA, J.T.S.; FIEDLER, N.C.; NOGUEIRA, M. **Tecnologias aplicadas ao setor florestal brasileiro**. Jerônimo Monteiro: 2007. P. 125-158.

ZHENG, Y.Q.; ENNOS, R.; WANG, H.R. Provenance variation and genetic parameters in a trial of *Pinus caribaea* Morelet var. *bahamensis* Barr. And Golf. **Forest Genetics**, v. 1, n. 3, p. 165-174, 1994.

ZHENG, Y.Q.; ENNOS, R.A. Genetic variability and structure of natural and domesticated populations of Caribbean pine (*Pinus caribaea* Morelet). **Theoretical and Applied Genetics**. n. 98, p.765-771, 1999.

CAPÍTULO 3

VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS DE TENSÃO EM ÁRVORES E TORAS DE PINUS TROPICAIS

CAPÍTULO 3

VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS DE TENSÃO EM ÁRVORES E TORAS DE PINUS TROPICAIS

3.1 INTRODUÇÃO

A utilização de tecnologias não destrutivas tem se tornando uma importante, valiosa e difundida ferramenta para avaliação da qualidade da madeira, não alterando suas características físicas, químicas e mecânicas nem interferindo na sua utilização posterior.

Algumas destas tecnologias são: radiografia, tomografia, análise de vibrações, ressonância magnética, espectroscopia, ultra-som, entre outras. Entre os vários métodos que utilizam a acústica como elemento para estimar ou determinar as propriedades da madeira, vale ressaltar a técnica de emissão acústica ou emissão de ondas de tensão.

A técnica de emissão de ondas de tensão baseia-se na velocidade de propagação da onda ao longo do material avaliado, a qual apresenta relações com a massa específica e com o módulo de elasticidade, podendo então, estabelecer relações matemáticas que fornecem informações sobre as propriedades do material ou produto final.

Esta tecnologia tornou-se amplamente aceita na indústria de produtos florestais, sendo bastante utilizada principalmente no controle de qualidade e na classificação de produtos. Por outro lado, a qualidade do produto depende diretamente da matéria prima utilizada no processo de transformação, sendo um desafio para as indústrias de base florestal selecionar as árvores ou toras com propriedades adequadas às diferentes utilizações.

A aplicação das ondas de tensão nas árvores em pé e em toras pode tornar-se um método bastante vantajoso para esta seleção ou classificação, principalmente em florestas de rápido crescimento e com múltiplos usos. Neste caso, a aplicação da

tecnologia permitiria selecionar árvores ou toras, sem defeitos e com as melhores propriedades, e transformá-las em material de maior valor econômico, para determinados setores, resultando em elevada economia tanto em matéria prima quanto em processo, maior rendimento, além de prever e antecipar a qualidade do produto final.

Tendo em vista a possível e significativa contribuição desta tecnologia na obtenção de informações sobre as características das árvores, toras e propriedades da madeira para geração de produtos florestais de maior valor agregado, neste capítulo é apresentado o comportamento da velocidade de propagação das ondas de tensão nas árvores em pé e nas toras, o qual servirá de base para o estabelecimento das correlações entre esta técnica e as propriedades da madeira apresentadas ao longo dos próximos capítulos.

3.1.1 Objetivo geral

Avaliar o comportamento da velocidade de propagação de ondas de tensão em árvores em pé e em toras de *Pinus* tropicais.

3.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar a velocidade de propagação das ondas de tensão nos sentidos transversal e diagonal das arvores em pé.
- Avaliar a velocidade de propagação das ondas de tensão nas toras obtidas ao longo do fuste comercial.

3.2 REVISÃO DE LITERATURA

Árvores e diferentes tipos de vegetação são de grande interesse para pesquisadores e especialistas em acústica, tendo em vista a capacidade das florestas ou das plantações atenuar o ruído ambiental e criar um micro clima agradável e de baixo custo (BUCUR, 1995).

Mas, além disso, e de acordo com as definições físicas da aplicação e propagação do som⁴, a acústica vai além da atenuação do ruído e do conforto acústico, sendo amplamente aplicada em diversas técnicas e equipamentos que objetivam a avaliação das propriedades dos materiais, e também, dos recursos florestais.

Algumas destas aplicações estão relacionadas a equipamentos e tecnologias não destrutivas. Segundo Ross (1992, 1998), Ross, Brashaw e Pellerin (1998), Sücsz *et al.* (1999), Matos (1997, 1999a, 1999b, 2002), Puehringer (2002), Chies (2005) Shimoyama (2005) e Castelo (2007), a avaliação não destrutiva é uma ciência que determina as propriedades físicas e mecânicas de um material sem alterar sua capacidade de uso posterior e utiliza estas informações para fazer inferências e tomar decisões sobre as aplicações mais adequadas, desempenho e condição do material avaliado.

De acordo com Zhang, Wang e Su (2011) a utilização de métodos não destrutivos para avaliação da madeira é de alta relevância prática para a silvicultura e para a indústria de processamento da madeira. Um esforço significativo tem sido direcionado para o desenvolvimento de tecnologias não-destrutivas robustas capazes de prever as propriedades da madeira em árvores em pé antes da colheita e detectar defeitos internos antes do processamento das toras (PUHERINGER, 2002; SHIMOYAMA, 2005; CASTELO, 2007; WANG; ROSS; CARTER, 2007; ZHANG; WANG; SU, 2011).

⁴ Som: onda mecânica que se propaga em um meio material, podendo este meio apresentar-se como sólido, líquido ou gasoso (HALLIDAY; RESNICK, 2009; SEARS; ZEMANSKY; YOUNG, 1984). A propagação se dá pela vibração das moléculas que constituem estes meios (KOLLMANN; CÔTÊ, 1968).

Considerando os métodos não destrutivos cujo princípio de funcionamento se baseia na acústica, Divós, Daniel e Bejós (2000) relatam que as medições acústicas tem se tornado metodologias comuns e difundidas para avaliação da qualidade da madeira e de produtos de madeira. Galligan (1964) complementa que estes métodos despertaram grande interesse, devido aos excelentes resultados obtidos por diversos pesquisadores e, Jung, (1979); Gerhards, (1982); Ross e Pellerin, (1988); Wang *et al.* (2004); Zhang; Wang e Su, (2011), corroboram mencionando que as tecnologias acústicas tornaram-se amplamente aceitas na indústria de produtos florestais para controle de qualidade e classificação de produtos.

As medições acústicas envolvem geralmente a velocidade de propagação das ondas de som ou ultra-som para estimar a resistência ou identificar locais com defeito (DIVÓS; DANIEL; BEJÓS, 2000). Em continuidade, Bucur (1996) relata que as técnicas ultra-sônicas baseiam-se na velocidade de propagação de um pulso ultra-sônico, de baixa frequência, nos materiais sólidos, e Galligan (1964), complementa as informações correlatas ao princípio de propagação das ondas, afirmando que este método apresenta relações entre velocidade do som, módulo de elasticidade e massa específica do material avaliado. Segundo Bucur (1996, 1999) o módulo de elasticidade pode ser facilmente determinado a partir da aplicação das técnicas de propagação do som, trazendo inúmeras vantagens.

Considerando a importância do método não destrutivo baseado na propagação do som, outras vantagens podem ser citadas além da determinação das características de um material sem alterar sua capacidade de uso posterior. Algumas delas são: a flexibilidade e as medições de velocidades e atenuação das ondas em uma larga variedade de amostras, com as mais variadas geometrias (BUCUR, 1996, 1999), geração de produtos de maior valor econômico, maximizando com isso a importância dos recursos florestais (PUEHRINGER, 2002), seleção adequada de árvores e produtos ao uso final (MATOS, 1997), determinação indireta das propriedades da madeira, com precisão, eficiência e rapidez na obtenção dos dados (MATOS 2002; SHIMOYAMA, 2005; SOUZA, 2006; CASTELO, 2007), entre outros.

3.2.1 Fundamentos físicos da propagação de ondas de tensão na madeira

Ondas podem ser definidas como perturbações que se propagam em um meio material à medida que este meio é deslocado do estado de equilíbrio (SEARS; ZEMANSKY; YOUNG, 1984), transportando energia (HALLIDAY; RESNICK, 2009).

A propagação de ondas na madeira baseia-se na vibração de sua microestrutura e fundamentalmente sobre as propriedades elásticas do eixo de propagação (SANDOZ, 1996), sendo considerado um processo complexo e dinâmico. Este processo é controlado pelas propriedades, orientação dos elementos constituintes e microestrutura de fibra, e, além disso, pela forma geométrica do material avaliado (WANG; ROSS; CARTER, 2007). Dunlop (1981) corrobora a complexidade deste processo, afirmando que a propagação das ondas na madeira depende em grande parte das propriedades mecânicas da parede celular, principalmente da camada S_2 , a qual se apresenta em maior quantidade na célula.

A avaliação da madeira a partir do emprego de ondas está relacionada principalmente ao método do ultra-som (acima 20.00 Hz), o qual, segundo Matos (1997), se baseia no princípio de propagação de ondas de tensão. Ainda em referência a este autor, para a madeira, a onda de tensão é uma onda ultra-sônica, de baixa frequência, que se propaga ao longo do eixo natural do material. No eixo longitudinal, os elementos anatômicos dispostos em sua maior dimensão proporcionam maior velocidade de energia acústica e conseqüentemente, menor atenuação (BUCUR; BÖHNKE, 1994). Assim, quando os elementos constituintes apresentam um ângulo de grã entre 0 e 30°, a velocidade de propagação é pouco influenciada, no entanto, acima deste ângulo (30°) a velocidade torna-se mais sensível, chegando a dobrar seu valor quando o ângulo de grã for de 60° (DIVÓS; DANIEL; BEJÓS, 2000).

De acordo com Zhang, Wang e Su (2011) a medição da velocidade de propagação de ondas na madeira envolve a inserção de dois sensores, sendo um deles destinado a emissão do impacto, e o outro utilizado para a recepção da energia do fenômeno ondulatório. Quando um impacto é aplicado sobre a superfície, uma perturbação neste meio é gerada, onde a mesma percorre pela madeira como uma onda de tensão. (WANG; ROSS; CARTER, 2007). A velocidade é então

determinada medindo o tempo necessário para uma onda de pulso único percorrer uma determinada distância através da área avaliada (ZHANG; WANG; SU, 2011).

Segundo Wang, Ross e Carter (2007), quando um impacto é executado sobre o material, três tipos de ondas são geradas: uma onda longitudinal, uma onda de cisalhamento e uma onda de superfície. Segundo estes autores, a onda longitudinal ou onda de compressão como é também chamada, corresponde à oscilação de partículas ao longo da direção de propagação das ondas, de tal forma que a velocidade das partículas é paralela à velocidade da onda. Já a onda de cisalhamento, diz respeito ao movimento perpendicular das partículas em relação à direção de propagação própria da onda. Por fim, a onda de superfície é geralmente restrita à região adjacente à superfície, onde as partículas se movem para cima e para baixo e para trás e para frente, traçando caminhos em forma elíptica.

Embora a maior parte da energia resultante de um impacto seja proporcionada por ondas de cisalhamento e ondas de superfície, a onda longitudinal apresenta a propagação mais rápida, além de ser a mais fácil para se detectar nas aplicações em campo (MEYERS⁵, 1994, citado por WANG; ROSS; CARTER, 2007). Devido a este fato, a onda longitudinal é a mais utilizada para a determinação das características ou propriedades dos materiais.

A propagação das ondas ultra-sônicas é regida por equações fundamentais, as quais foram apresentadas por Bucur (1983) e significaram um importante avanço nesta área de pesquisa. Como resultado, as pesquisas desenvolvidas por esta pesquisadora demonstraram a influência de diversas propriedades da madeira sobre a propagação da onda, como por exemplo, o teor de umidade, a massa específica, a constituição anatômica e a geometria do corpo de prova.

3.2.2 Aplicação de ondas de tensão para avaliação da qualidade da madeira e de produtos de madeira

As tecnologias baseadas em ondas têm sido estabelecidas como ferramentas de avaliação de materiais há várias décadas, sendo de grande utilização na área

⁵ MEYERS, M.A. Dynamic behavior of materials, New York, 1994.

florestal, conforme relatado por diversos autores (JUNG, 1979; DUNLOP, 1981; GERHARDS, 1982; ROSS; PELLERIN, 1988; ROSS, 1992, 1998; MATOS, 1997, 1999a, 1999b, 2002; PUEHRINGER, 1999, 2002; ROSS, 2002; WANG *et al.*, 2004; SHIMOYAMA, 2005; CHIES, 2005; SOUZA, 2006; CASTELO, 2007, WANG; ROSS; CARTER, 2007; HANG; WANG; SU, 2011).

De uma maneira geral, informações sobre propriedades da madeira, tais como módulo de elasticidade, massa específica, teor de umidade e defeitos, podem ser obtidas através de medição e monitoramento da propagação de ondas em madeira e nos produtos obtidos a partir de seu processamento. Este conceito tem sido explorado extensivamente para caracterizar as propriedades físicas e mecânicas da madeira e de produtos florestais (WANG; ROSS; CARTER, 2007) podendo-se com isso, relacionar algumas aplicações e pesquisas correlatas.

Sakai, Minamisawa e Takagi (1990), em estudo do efeito do teor de umidade sobre a velocidade e atenuação ultra-sônica observaram que as medidas ultra-sônicas podem fornecer de maneira precisa o valor do ponto de saturação das fibras para diferentes espécies.

Matos (1997, 1999b) avaliando a viabilidade de produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *Pinus taeda*, a partir da classificação preliminar das lâminas por meio do método não destrutivo de ondas acústicas, concluiu a partir dos resultados obtidos, que a classificação de lâminas em classes de qualidade, mostrou-se altamente eficaz, contribuindo para o aumento significativo das propriedades de resistência mecânica dos painéis. Segundo este mesmo autor, previsões das propriedades finais de resistência a flexão estática de painéis estruturais LVL podem ser realizadas preliminarmente a sua fabricação, utilizando equações teóricas de predição e o procedimento de classificação de lâminas, baseados no método de determinação do módulo de elasticidade dinâmico.

Pio (2002) nesta mesma linha de pesquisa, avaliou a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *Eucalyptus grandis*, e também concluiu que a classificação das lâminas em classes de rigidez mostrou-se eficiente, contribuindo para o aumento das propriedades mecânicas dos painéis. Ainda de acordo com esta pesquisa, o autor conclui que o fator de rigidez aparente empírico, é um importante

instrumento para se estimar valores para o módulo de elasticidade dinâmico, que irá determinar também o uso final dos painéis.

Cruz (2009) em experimento para verificar o comportamento da umidade de tábuas a partir da variação da velocidade de propagação de ondas de tensão na madeira de nove materiais genéticos de *Eucalyptus*, e analisar a influência de defeitos naturais, da massa específica básica e dos componentes anatômicos na velocidade de propagação dessas ondas, chegou a conclusão que a velocidade de propagação das ondas pode variar em função da área de nós nas tábuas, do ângulo da grã, da massa específica da madeira e da orientação anatômica das tábuas. Segundo este mesmo autor, os nós exercem maior influência no deslocamento das ondas quando presentes em tábuas radiais e os componentes anatômicos não possibilitaram explicar o comportamento das ondas de tensão no material avaliado.

Iwakiri *et al.* (2010) avaliando a qualidade e a possibilidade do aumento de resistência estrutural de painéis laminados unidirecionais produzidos com lâminas de *Schizolobium amazonicum*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus taeda*, a partir de lâminas pré-classificadas em diferentes classes de módulo de elasticidade dinâmico através da aplicação de ondas de tensão, concluíram que a classificação das lâminas de paricá não influenciou de forma significativa os resultados de resistência da linha de cola, módulo de elasticidade e módulo de ruptura no sentido *edge*, contribuindo de forma significativa somente para o módulo de ruptura no sentido *flat*.

Puehringer (1999) caracterizando as propriedades de resistência mecânica de tábuas de *Eucalyptus sp.* pelo uso de emissão de ondas acústicas, concluiu a partir dos resultados obtidos, que a técnica não destrutiva de avaliação de resistência da madeira mostrou-se adequada, apresentando elevada correlação com a técnica convencional destrutiva.

Sendo o ultra-som, um dos mais importantes e aplicáveis métodos não destrutivos, o mesmo pode ainda, ser utilizado para a detecção de bolhas em painéis particulados, de fibras e compensados, verificação do estado físico e fitossanitário de árvores e estruturas em uso, bem como na classificação de tábuas de madeira para sortimento e produção racional de elementos estruturais (MATOS, 2002).

3.2.3 Aplicação da propagação de ondas de tensão para avaliação da qualidade da madeira a partir de árvores em pé

A avaliação da árvore em pé tem sido de grande interesse para as indústrias de produtos florestais e para o manejo florestal em todo o mundo. O uso de tal tecnologia não proporciona apenas uma maior lucratividade para a indústria florestal, mas também pode ajudar os silvicultores a tomar decisões de gestão e produzir madeira de alta qualidade (WANG; ROSS; CARTER, 2007).

De acordo com Matos (1997, 2002), as aplicações acústicas em árvores e toras permitem a seleção em campo do melhor material para as finalidades a que se destinam, além do conhecimento das condições físicas internas de diferentes tipos de materiais.

Em complemento as informações descritas pelo autor acima citado, pesquisas realizadas por Sandoz e Lorin (1994), relatam que a avaliação da qualidade de árvores em pé pode ser considerada a partir de dois objetivos distintos: a qualidade elástica, que se relaciona com a valorização industrial dos produtos de madeira, e a qualidade interna biológica, a qual está relacionada com a ação de agentes xilófagos e conseqüentemente a deterioração da madeira.

Segundo estes autores (SANDOZ; LORIN, 1994), quando se avalia as características elásticas, a velocidade de propagação de uma onda é medida no eixo longitudinal, logo a dispersão dos resultados em termos de velocidade é a informação que permite estabelecer uma classificação para o material. Já quando se avalia a qualidade biológica, a velocidade de uma onda (propagada no eixo radial de uma espécie ou tora) normalmente apresenta um desvio, o que denota ou indica a deterioração da madeira. Wang *et al.* (2004b) complementam a importância do método na avaliação da deterioração da madeira, afirmando que a velocidade de propagação medida na direção radial permite informações bastante precisas sobre a condição interna da árvore.

Por outro lado, a determinação do comportamento e das características de uma árvore em pé, muitas vezes torna-se difícil, pois a árvore é uma estrutura bastante complexa para a aplicação destes métodos de investigação (BODIG, 2000). Segundo este autor, esta complexidade de avaliação está relacionada a

diversos fatores, como por exemplo, a variação da geometria da árvore, muitas vezes em virtude da espécie, a idade, as condições climáticas e práticas silviculturais, além de algumas de suas propriedades variarem com a época do ano em que é efetuada a avaliação. A presença de casca, galhos e raízes, também se apresentam como elementos que criam muitas dificuldades geométricas e heterogeneidade para a aplicação de técnicas não destrutivas. Em complemento, Wang *et al.* (2004) afirmam que a seção transversal o comprimento e a forma geométrica afetam significativamente o comportamento da onda de tensão, podendo em algumas ocasiões, gerar dados imprecisos.

Outro desafio técnico, relacionado à avaliação da qualidade da madeira de árvores em pé e ainda sem total esclarecimento, diz respeito à compreensão do comportamento das ondas de tensão durante sua aplicação. O estudo e determinação do comportamento destas ondas são necessários para que os parâmetros da onda possam ser medidos e interpretados corretamente, e conseqüentemente, as propriedades da madeira das árvores possam ser previstas com grande precisão (ZHANG; WANG; SU, 2011).

Em relação à aplicabilidade, o método de propagação de ondas em árvores em pé foi validado por muitos trabalhos de pesquisa, podendo-se então, relacionar alguns deles para dar ênfase e reforçar ainda mais a importância desta técnica.

Puehringer (2002) avaliou a eficiência da utilização do método não destrutivo de ondas de tensão na qualificação de árvores, toras (tábuas e lâminas) de madeira de *Pinus taeda*. Na condução do experimento, este autor desenvolveu ensaios preliminares de aplicação da onda nas árvores em pé a partir de um prego inserido na madeira, sob a casca e diretamente na madeira. Segundo o mesmo, a aplicação do impacto diretamente na madeira é a opção mais adequada, já que apresenta o menor coeficiente de variação. Em continuidade à pesquisa, Puehringer (2002) ainda verificou que para a avaliação das árvores em pé, a melhor posição para aplicação da onda e respectiva coleta do tempo é a diagonal, visto que proporciona medidas mais homogêneas, e que na qualificação das toras, a emissão da onda de tensão é recomendada no sentido cruzado, através da medula. Como conclusão, o autor relata que o método é eficiente para o estabelecimento de classes de qualidade, resultando em correlação positiva entre estas classes e produtos gerados.

Wang *et al.* (2003) em estudo da aplicação de ondas de tensão em árvores em pé para avaliar a qualidade da madeira de toras de pequenos diâmetros de *Douglas-fir* e *Pinus ponderosa* e com isso proporcionar maior valor agregado as espécies, verificaram que o tempo da onda de tensão aumentou com o acréscimo do diâmetro na altura do peito nas árvores de *Douglas-fir* e diminuiu com o aumento do diâmetro (DAP) nas árvores de *Pinus ponderosa*. Segundo estes autores, os dados coletados em campo e suas respectivas análises demonstraram que a técnica de aplicação de ondas de tensão para avaliar a qualidade da madeira a partir de árvores de pequenos diâmetros apresenta-se como potencial.

Wang *et al.* (2004), mencionam que estudos recentes tem mostrado que a aplicação de ondas de tensão longitudinais podem ser utilizadas como um método não destrutivo para avaliação do módulo de elasticidade da tora. Segundo estes autores, existe uma forte relação entre o módulo de elasticidade determinado pela aplicação da onda de tensão e o módulo de elasticidade obtido pelo método estático, mesmo com grandes diferenças encontradas a partir dos dois métodos. Avaliando árvores de *Pinus banksiana*, *Pinus resinosa*, *Pseudotsuga menziesii* e *Pinus ponderosa*, estes autores concluíram que a diferença entre os dois métodos é justificada pelo fato de que a aplicação da onda longitudinal é bastante sensível ao tamanho e a geometria da tora.

Shimoyama (2005) buscando estimar as propriedades da madeira e verificar a viabilidade de utilização das ondas de tensão como ferramenta para a seleção de árvores em pé e toras, empregou a referida técnica em árvores de *Pinus taeda* de 28 anos, nas suas respectivas toras, tábuas e lâminas. De acordo com a autora, correlações significativas entre o tempo e a velocidade de propagação da onda e as demais propriedades avaliadas na árvore em pé, toras e produtos, foram detectadas, indicando que a técnica pode ser empregada para a determinação indireta destas propriedades, com precisão, eficiência e rapidez na obtenção dos resultados. Além disso, a autora concluiu que a qualidade dos produtos pode ser estimada através da aplicação da técnica a qual também pode ser utilizada como uma ferramenta na seleção de material para as mais diversas finalidades, dentre elas, a produção de celulose, pastas, papel, madeira serrada e laminados.

Souza (2006) avaliando tensões de crescimento de *Eucalyptus dunnii* através de metodologias não destrutivas, observou que a aplicação de ondas de tensão

apresentou correlação com o extensômetro *Strain Gauge* e com as características anatômicas das fibras de madeira, tornando a técnica eficiente e com boas possibilidades para estimar estas propriedades indiretamente.

Castelo (2007) desenvolveu avaliação da qualidade da madeira de *Pinus taeda* com 14, 16, 18 e 21 anos, em diferentes sítios de crescimento e espaçamentos, por meio do método não destrutivo de emissão de ondas de tensão e de acordo com os resultados obtidos, concluiu que esta técnica pode ser empregada para a determinação indireta das características da madeira.

Wang, Ross e Carter (2007) em estudo da avaliação acústica em árvores em pé comparam as velocidades de propagação das ondas obtidas diretamente nas árvores e as velocidades obtidas nas toras. De acordo com estes autores, os dados experimentais mostraram uma relação assimétrica entre as medições na árvore e em suas respectivas toras, onde as velocidades nas árvores foram significativamente maiores que nas toras. De acordo ainda com este trabalho, os resultados indicaram que o tempo de medição observado nas árvores em pé foram provavelmente promovidos por ondas de dilatação ou quase dilatação, ao invés de ondas no plano unidimensional.

Zhan, Wang e Su (2011) avaliando como uma onda produzida por um impacto mecânico percorre uma árvore em pé, concluíram que a mesma começa a se propagar na direção do impacto, como uma onda tridimensional (dilatação), mas como o fluxo de energia⁶ muda gradualmente, a onda muda para a direção longitudinal. Como a relação entre diâmetro da tora e distância obtida foi muito baixa (muitas vezes abaixo de 0,1), os autores relatam que no estudo em questão a onda começou a se propagar como uma onda quase unidimensional. Considerando ainda o referido trabalho, tais autores concluíram que a presença de nós e a orientação da grã foram os principais defeitos que afetaram a propagação das ondas.

Com base nestes estudos de referência, para avaliação da qualidade da madeira de diferentes espécies de *Pinus* tropicais, a técnica de avaliação não destrutiva, baseada no método de aplicação de ondas de tensão em árvores e toras, foi utilizada neste trabalho.

⁶ A velocidade de qualquer onda mecânica, transversal ou longitudinal, depende tanto das propriedades do meio (para armazenar energia cinética) como das propriedades elásticas (para armazenar energia potencial) (HALLIDAY; RESNICK, 2009).

3.3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.3.1 Espécies estudadas

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram utilizadas sete espécies de *Pinus*, sendo algumas delas originárias de plantios do Programa CAMCORE e outras do CCGMPT, em áreas florestais experimentais da empresa Valor Florestal, localizados em Ventania – PR e em Itararé – SP, instaladas em espaçamento de 2,5 m x 2,5 m.

As espécies estudadas são apresentadas na Tabela 3.1, juntamente com o local de origem do plantio e idade.

TABELA 3.1 – ESPÉCIES DE PINUS UTILIZADAS NA PESQUISA

Espécie	Idade	Local do plantio
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i> ¹	17 anos	Itararé - SP
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i> ¹	17 anos	Itararé - SP
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> ²	18 anos	Ventania - PR
<i>Pinus chiapensis</i> ²	18 anos	Ventania - PR
<i>Pinus maximinoi</i> ²	18 anos	Ventania - PR
<i>Pinus oocarpa</i> ²	18 anos	Ventania - PR
<i>Pinus tecunumanii</i> ²	18 anos	Ventania - PR
<i>Pinus taeda</i> (testemunha)²	18 anos	Ventania - PR

¹ Programa CCGMPT; ² Programa CAMCORE

3.3.2 Descrição dos locais e amostragem do material

3.3.2.1 Descrição do local

O local de coleta das espécies *P. caribaea* var. *bahamensis* e *P. caribaea* var. *caribaea* localizada no Município de Itararé – SP situa-se a $24^{\circ}06'33''\text{S}$ e $49^{\circ}19'57''\text{W}$ com altitude de 750 metros. O clima da região é subtropical, com temperatura média anual de 25°C . No inverno, porém, as temperaturas baixam muito e os termômetros marcam em média 10°C . A precipitação média anual é de aproximadamente 1.300 mm.

Já o local de coleta das demais espécies, localizado em Ventania – PR, situa-se a uma latitude de $24^{\circ}14'45''\text{S}$ e a uma longitude $50^{\circ}14'34''\text{W}$, estando a uma altitude de 990 metros. O clima é subtropical úmido mesotérmico e a temperatura média é de 22°C , e em anos com ocorrência de geadas freqüentes e severas é inferior a 18°C . A precipitação média anual é de aproximadamente 1400 mm.

A Figura 3.1 apresenta os locais de coleta das espécies estudadas.



1 – Ventania - PR e 2 – Itararé – SP

FIGURA 3.1 – LOCAL DE COLETA DAS ESPÉCIES
Distância entre os locais: aproximadamente 120 km.

De acordo com a classificação climática de Köppen nas duas regiões o clima é predominantemente temperado úmido com verão quente e temperado úmido com verão temperado (Cfa/Cfb). Os solos encontrados são cambissolos, podzólios vermelho-amarelos, litólicos, latossolos vermelho-escuro e areias quartzosas.

2.3.2.2 Amostragem do material em campo

A amostragem das espécies em campo seguiu a Norma COPANT, onde foram selecionadas cinco árvores por espécie, sendo três com diâmetro igual ao diâmetro médio da população, uma com diâmetro inferior e uma com diâmetro superior. A amostragem foi também efetuada com base nos dados de inventário do experimento que estava sendo acompanhado ano a ano pela PISA e sequencialmente pela Valor Florestal, onde foram selecionadas árvores representativas da distribuição diamétrica.

De cada árvore selecionada foram coletados os dados da circunferência na altura do peito (CAP) posteriormente convertida em diâmetro na altura do peito (DAP), altura comercial e altura total, cujos valores médios são apresentados e discutidos no Capítulo 4.

A Figura 3.2 ilustra a área de coleta do material.



FIGURA 3.2 – ÁREA DE COLETA E AMOSTRAGEM DAS ÁRVORES DE PINUS TROPICAIS

3.3.3 Aplicação das ondas de tensão

3.3.3.1 Aplicação das ondas da tensão nas árvores

Após a seleção das árvores e coleta dos dados dendrométricos foram aplicadas as ondas de tensão a fim de se obter a velocidade de propagação. A aplicação das ondas foi conduzida de acordo com a metodologia indicada por Puehringer (2002), onde após realizar estudo sobre o assunto, este autor concluiu que a melhor forma para obtenção da velocidade de propagação é a aplicação e recebimento da onda de tensão quando os transdutores são posicionados diretamente na madeira, onde se obtém o menor coeficiente de variação.

Estabelecendo-se como altura padrão o DAP, a remoção da casca foi efetuada nesta posição, em lados opostos, bem como em um dos lados da base. Em seguida a onda de tensão foi aplicada conforme a Figura 3.3, sendo efetuadas cinco repetições por posição.



FIGURA 3.3 – ESQUEMA E APLICAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NAS ÁRVORES

Antes da determinação da velocidade, a distância entre os transdutores foi corrigida de acordo com o diâmetro de cada árvore avaliada. A velocidade da onda de propagação foi então determinada pela razão entre distância entre os transdutores e o tempo necessário para a onda percorrer este trecho.

3.3.3.2 Aplicação das ondas da tensão nas toras

Depois de derrubadas, as árvores foram seccionadas de acordo com a altura comercial, cujo diâmetro mínimo para seccionamento e utilização da última tora foi de aproximadamente 8 cm. A aplicação das ondas foi efetuada com a tora ao chão, em sentido longitudinal. Foram realizadas cinco repetições por tora, tendo como ponto de emissão da onda a base da tora e ponto de recepção a outra extremidade (topo da tora), e como ponto de referência de emissão e recepção, o centro da tora.

A Figura 3.4 demonstra os procedimentos metodológicos efetuados nesta etapa da pesquisa.



FIGURA 3.4 – APLICAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NAS TORAS

Após a coleta do tempo de propagação das ondas, foi determinada a velocidade de propagação, considerando sempre, o comprimento efetivo da tora.

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.4.1 Avaliação da propagação de ondas de tensão em árvores

Os resultados médios obtidos para a velocidade de propagação das ondas na seção transversal do DAP nas árvores em pé, são apresentados na Tabela 3.2.

TABELA 3.2 – RESULTADOS MÉDIOS DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS NA SEÇÃO TRANSVERSAL (DAP) DAS ÁRVORES

Espécie	Velocidade (m/s)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	568 a (12,72)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	650 a (9,48)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	797 a (42,23)
<i>Pinus chiapensis</i>	329 a (30,03)
<i>Pinus maximinoi</i>	544 a (52,29)
<i>Pinus oocarpa</i>	440 a (8,93)
<i>Pinus tecunumanii</i>	756 a (38,90)
<i>Pinus taeda</i>	679 a (19,60)
<i>p</i>	0,096 ^{ns}

Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade; valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras * significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo.

Observa-se a partir dos resultados descritos na Tabela 3.2, que a velocidade de propagação das ondas de tensão apresentou valores médios entre 329 m/s a 797

m/s, para as espécies *Pinus chiapensis* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, respectivamente.

Embora os valores médios das velocidades obtidas sejam bastante diferentes entre espécies, o teste de comparação de médias revelou que sob o ponto de vista estatístico, as velocidades de propagação das ondas de tensão são estatisticamente iguais entre as espécies estudadas.

Pode-se verificar ainda, segundo a Tabela 3.2, elevados coeficientes de variação para os valores obtidos. Esta elevada variação, assim como as diferenças na velocidade de propagação, podem estar associadas a possíveis defeitos naturais da madeira, como por exemplo, presença de pequenos nós na região em que foi aplicada a onda de tensão, ou ainda diferentes teores de umidade e massa específica das espécies.

Em comparação com resultados apresentados por outros pesquisadores, verifica-se que as velocidades médias obtidas nesta pesquisa, para esta configuração de medição, são superiores as apresentadas por Puehringer (2002) que avaliando árvores de *Pinus taeda* com 30 anos de idade, obteve em avaliação preliminar, velocidade média de 317 m/s. Já em comparação com os resultados obtidos por Castelo (2007) que obteve velocidades médias de 504 a 525 m/s, para *Pinus taeda* com idades entre 14 e 18 anos em diferentes sítios e velocidades de 487 m/s a 601 m/s para *Pinus taeda* com idade de 21 anos em diferentes espaçamentos, observa-se que os resultados obtidos nesta pesquisa são similares aos encontrados pela referida autora.

Considerando os resultados obtidos por Souza (2006), em *Eucalyptus dunnii* com 14 anos, observa-se que as velocidades de propagação determinadas por este autor, a partir desta espécie, situam-se no intervalo de 597 m/s a 1.201 m/s, cuja média é de 932 m/s, sendo, portanto, superiores as velocidades encontradas para as espécies de *Pinus*. Uma provável justificativa para estas diferenças por ser dada em função da massa específica, onde normalmente espécies de *Eucalyptus* apresentam maior massa específica que espécies de *Pinus*, tendo este autor encontrado massa específica média de 0,524 g/cm³ para os dois tratamentos realizados. Uma maior massa específica representa uma menor quantidade de espaços vazios na árvore, facilitando desta forma, a propagação da onda aplicada.

Por outro lado, não se deve descartar o efeito da orientação da grã, constituição química e anatômica, para avaliar a diferença de velocidade de propagação entre as espécies, bem como diâmetro e forma geométrica das árvores, já que Wang, Ross e Carter, (2007) e Wang *et al.* (2002) relatam que a seção transversal e a forma geométrica afetam significativamente o comportamento da onda de tensão, podendo em algumas ocasiões, gerar dados imprecisos.

Os resultados obtidos a partir da propagação das ondas em sentido diagonal entre a base da árvore e o DAP, podem ser visualizados na Tabela 3.3.

TABELA 3.3 – RESULTADOS MÉDIOS DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS NA SEÇÃO DIAGONAL (DAP - BASE) DAS ÁRVORES

Espécie	Velocidade (m/s)
<i>Pinus caribaea var. bahamensis</i>	632 a (7,29)
<i>Pinus caribaea var. caribaea</i>	627 a (4,49)
<i>Pinus caribaea var. hondurensis</i>	761 a (12,13)
<i>Pinus chiapensis</i>	552 a (9,60)
<i>Pinus maximinoi</i>	692 a (35,06)
<i>Pinus oocarpa</i>	742 a (26,49)
<i>Pinus tecunumanii</i>	711 a (26,49)
<i>Pinus taeda</i>	837 a (7,37)
<i>p</i>	0,096 ^{ns}

Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade; valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras; *significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo.

De acordo com a tabela acima, observa-se que as velocidades médias variaram no intervalo de 552 m/s a 837 m/s, não sendo evidenciada diferença estatística significativa entre as espécies. Assim como no sentido transversal (DAP),

a espécie que apresentou a menor velocidade de propagação foi o *Pinus chiapensis*. Já a maior velocidade média foi obtida no *Pinus taeda*.

Considerando estudos conduzidos por outros pesquisadores, verifica-se que Shimoyama (2005), em avaliação de árvores de *Pinus taeda* com 28 anos, obteve valor médio de 729 m/s (596 m/s a 831 m/s), sendo estes similares aos valores obtidos para as diferentes espécies de *Pinus* aqui apresentadas (552 m/s a 837 m/s). Observa-se também que tanto os valores obtidos por esta autora, como os aqui mencionados, apresentam intervalo de variação similar, podendo-se desta forma, afirmar que tanto o sítio, quanto a idade ou espécie, exerceram pouca influência nos resultados de velocidade de propagação das ondas.

Em referência ao trabalho desenvolvido por Castelo (2007), observa-se que a autora obteve valores médios de velocidade de propagação situados no intervalo de 740 m/s a 791 m/s para diferentes sítios de crescimento, e velocidades de 676 m/s a 763 m/s para nove diferentes espaçamentos, sendo também, similares aos obtidos aqui, a partir das oito espécies de *Pinus*.

Em comparação com os resultados apresentados por Souza (2006), verifica-se novamente, que a velocidade obtida para as toras de *Eucalyptus dunnii* foram superiores, onde o valor médio obtido pelo autor foi de 1.614 m/s, sendo este valor, de maneira geral, praticamente o dobro da velocidade apresentada pelas espécies de *Pinus*.

Confrontando as velocidades apresentadas pelas espécies no sentido transversal (DAP) e no sentido diagonal (DAP - base), e considerando as informações apresentadas por Shimoyama (2005) que relata que as ondas emitidas no DAP e recebidas na base da árvore, propagam-se mais rapidamente ao longo do comprimento, observa-se que não houve uma tendência clara e homogênea para todas as espécies, indicando que a velocidade neste sentido é maior.

3.4.2 Avaliação da propagação das ondas de tensão nas toras

Os resultados médios determinados a partir dos tempos de propagação das ondas nas toras são apresentados na Tabelas 3.4.

TABELA 3.4 – RESULTADOS MÉDIOS DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO, EM TORAS, POR ESPÉCIE

Espécie	Velocidade (m/s)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	2.640 ab (9,25)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	2.517 cd (9,33)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	2.293 e (10,18)
<i>Pinus chiapensis</i>	2.654 a (13,45)
<i>Pinus maximinoi</i>	2.575 abc (10,12)
<i>Pinus oocarpa</i>	2.559 bcd (8,14)
<i>Pinus tecunumanii</i>	2.466 d (10,05)
<i>Pinus taeda</i>	2.585 abc (9,80)
<i>p</i>	0,096 ^{ns}

Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna são estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade; valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação; *significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo.

Pode-se observar, que a velocidade de propagação das ondas nas toras apresentou diferença estatística significativa entre os valores médios das espécies avaliadas. Verifica-se que a maior velocidade foi obtida a partir do *Pinus chiapensis*, sendo este estatisticamente igual as espécies *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, *Pinus maximinoi* e a espécie testemunha, *Pinus taeda*. Já a menor velocidade média foi demonstrada pelo *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, sendo este, estatisticamente inferior aos demais.

De forma geral, a partir dos resultados obtidos e conseqüentemente confrontados com os resultados encontrados por outros pesquisadores, verifica-se que as velocidades médias das oito espécies de *Pinus* estudadas são similares as velocidades determinadas por Puerinhger (2002), Shimoyama (2005), Chies (2005), Castelo (2007) e Souza (2006).

Em relação às velocidades de propagação obtidas para as diferentes toras ao longo da altura comercial, pode-se notar, de acordo com a Tabela 3.5, que para a primeira tora, a maior velocidade foi apresentada pelo *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, com valor de 2.593 m/s, sendo este, estatisticamente igual ao *Pinus oocarpa*. Já a menor velocidade, foi obtida no *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, sendo esta velocidade, estatisticamente diferente de todas as demais espécies.

Considerando a segunda tora, observa-se que os valores foram mais homogêneos entre as espécies estudadas, onde somente a espécie *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, se diferenciou estatisticamente das demais, sendo também, a única a apresentar diferença estatística significativa da espécie testemunha (*Pinus taeda*).

Para a terceira tora, os resultados médios demonstraram que o *Pinus caribaea* var. *bahamensis* apresentou a maior velocidade de propagação, sendo a velocidade desta espécie, estatisticamente diferente da velocidade apresentada pela espécie *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, somente.

Para a quarta tora, observa-se novamente uma maior homogeneidade entre os valores das velocidades médias de propagação das ondas. Verifica-se, que somente o *Pinus caribaea* var. *hondurensis* apresentou diferença estatística significativa, quando comparado com as demais espécies e com a espécie testemunha.

Em relação aos valores médios obtidos para a quinta tora, nota-se que a maior velocidade média foi evidenciada na espécie *Pinus chiapensis*, sendo esta velocidade, estatisticamente superior às velocidades médias apresentadas pelas demais espécies em estudo. Por outro lado, observa-se novamente, que a menor velocidade média foi obtida para o *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, sendo este, estatisticamente igual ao *Pinus tecunumanii*.

Já para a variação de velocidade ao longo do fuste das espécies estudadas, verifica-se, que no *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, a velocidade média de propagação da onda ao longo do fuste manteve certa homogeneidade, sendo a única espécie a apresentar igualdade estatística ao longo da altura.

TABELA 3.5 – RESULTADOS MÉDIOS DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS NAS TORAS AO LONGO DA ALTURA COMERCIAL ENTRE ESPÉCIES E NA ESPÉCIE

Espécie	1ª Tora (m/s)	2ª Tora (m/s)	3ª Tora (m/s)	4ª Tora (m/s)	5ª Tora (m/s)	$p_{\text{espécies}}$
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	^A 2.593 a (6,78)	^A 2.604 a (12,93)	^A 2.696 a (8,65)	^A 2.675 a (6,93)	-	0,367 ^{ns}
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	^B 2.389 bc (7,23)	^A 2.689 a (13,12)	^{AB} 2.542 ab (5,69)	^A 2.645 a (7,54)	-	0,009*
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	^C 2.076 d (5,94)	^B 2.215 b (8,73)	^{AB} 2.329 c (8,22)	^A 2.400 b (7,64)	^A 2.399 d (9,87)	0,000*
<i>Pinus chiapensis</i>	^C 2.295 bc (10,44)	^B 2.632 a (9,59)	^B 2.632 ab (10,66)	^B 2.705 a (9,95)	^A 2.964 a (8,49)	0,000*
<i>Pinus maximinoi</i>	^D 2.264 c (6,43)	^{BC} 2.559 a (7,70)	^C 2.535 ab (6,59)	^A 2.728 a (8,46)	^{AB} 2.717 b (7,03)	0,000*
<i>Pinus oocarpa</i>	^B 2.439 ab (5,61)	^A 2.625 a (6,77)	^{AB} 2.544 ab (9,96)	^A 2.626 a (7,94)	^A 2.653 bc (4,99)	0,001*
<i>Pinus tecunumanii</i>	^B 2.334 bc (9,98)	^{AB} 2.459 a (11,67)	^{AB} 2.479 bc (9,80)	^A 2.548 a (7,09)	^{AB} 2.515 cd (9,86)	0,025*
<i>Pinus taeda</i>	^B 2.324 bc (10,25)	^A 2.612 a (10,46)	^A 2.649 ab (5,22)	^A 2.675 a (8,51)	^A 2.683 bc (6,68)	0,000*
p_{toras}	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*	

Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna (a direita, minúscula e em fonte normal) não indicam diferenças de velocidade para a tora entre espécies, e são estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra na mesma linha, (a esquerda, maiúscula e em fonte subscrita) não indicam a variação de velocidade ao longo do fuste na espécie e são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo.

De maneira geral, é possível notar que na maioria das espécies, a velocidade de propagação aumentou ao longo do fuste e que em todos os casos, a primeira tora apresentou valores inferiores as demais toras. Embora o movimento ondulatório dependa de um meio elástico para se propagar, onde quanto maior a massa específica maior é a facilidade de propagação, e considerando que a massa específica tende a diminuir no sentido longitudinal do tronco, era de se esperar uma redução da velocidade de propagação, no entanto, os resultados demonstram uma situação contrária. Desta forma, possíveis explicações para o comportamento da velocidade de propagação ao longo do fuste podem estar associadas à presença de água nas células. Com o aumento da altura ocorre uma redução na massa específica, ocasionada principalmente pela maior proporção de madeira juvenil, que apresenta células com menor espessura de parede e conseqüentemente mais delgadas. Células mais delgadas possuem maior quantidade de água em seus lumes e como a velocidade de propagação do som é muito maior na água do que no ar (lumes vazios: presença de ar no interior das células), ocorre uma maior facilidade de propagação das ondas, nas porções superiores da árvore.

Este comportamento foi também observado em outras pesquisas, como por exemplo, por Puehringer (2002), que obteve velocidades médias de 2.252 m/s para a primeira tora, e 2.343 m/s para a segunda tora. Shimoyama (2005), avaliando a velocidade de propagação das ondas em toras de *Pinus taeda* com 28 anos, também obteve resultados similares, encontrando valor médio de 2.271 m/s para a primeira tora e 2.307 m/s para a segunda tora. Chies (2005) e Castelo (2007) em estudo da influência do espaçamento sobre a qualidade da madeira de *Pinus taeda* com 21 anos, obtiveram velocidades médias de 2.732 e 2.853 m/s, para primeira e segunda tora, respectivamente. Castelo (2007) em estudo da influência do sítio na qualidade da madeira de *Pinus taeda* com idade entre 14 e 18 anos, encontrou o mesmo comportamento para 2 dos 3 sítios avaliados, com valores de 2.394, 2.406 e 2.517 m/s para o Sítio 1 e valores médios de 2.884, 2.812 e 3.122 m/s para o Sítio 3, para primeira, segunda e terceira tora, respectivamente. Souza (2006) em aplicação das ondas para as toras de *Eucalyptus grandis* com 14 anos, obteve resultados médios de 3.246 e 3.433 m/s para a primeira e segunda tora, respectivamente.

Confrontando as velocidades obtidas entre as arvores em pé e as toras, verifica-se que as velocidades de propagação das ondas foram maiores nas toras,

sendo este fato justificado pela disposição dos traqueóides. Quando a onda é aplicada na tora, o sentido de percurso da mesma se dá sempre no sentido longitudinal, sempre paralelo aos traqueóides. Já ao ser aplicada na árvore em pé, o percurso da onda é diagonal e transversal a disposição destes elementos, encontrando maior dificuldade de propagação, aumentando com isso o tempo necessário para percorrer a distância estabelecida e conseqüentemente, reduzindo a velocidade. Estes resultados entre a diferença de velocidade de propagação na árvore e nas toras são similares aos obtidos por outros estudos já mencionados (SHIMOYAMA, 2005; SOUZA, 2006 e CASTELO, 2007). Por outro lado, diferem dos resultados mencionados por Wang, Ross e Carter, (2007), que obtiveram maiores velocidades nas árvores em pé do que nas toras. Tais diferenças podem ser justificadas em função das características das árvores estudadas, principalmente as relacionadas à condição de crescimento e também ao equipamento e metodologia de obtenção dos dados.

Observa-se também, que a variabilidade das velocidades na espécie e entre espécies são menores e mais homogêneas, do que quando a variável é coletada na tora, podendo-se afirmar com isso, que nas toras a medição é mais precisa e com menor coeficiente de variação. Este comportamento dos coeficientes de variação foi também evidenciado por Shimoyama (2005) e Souza (2006).

Em relação à interpretação da variável velocidade de propagação das ondas de tensão, pode-se dizer, de maneira geral, que uma maior velocidade de propagação indica que a madeira ou tora avaliada deve apresentar uma qualidade melhor, principalmente, relacionada à menor ocorrência e frequência de defeitos, como por exemplo, nós. Além disso, uma maior velocidade permite a seleção do material para os fins a que se destinam, além de uma informação prévia das condições físicas internas das árvores.

Em virtude das velocidades obtidas para as árvores em pé e para as toras, a partir das espécies de *Pinus* avaliadas, espera-se que as espécies que apresentaram maior velocidade de propagação das ondas de tensão, demonstrem ao longo desta pesquisa, correlações positivas com as propriedades da madeira obtidas pela forma convencional, e possam validar este método não destrutivo, como um método preciso, eficiente e rápido para avaliação da qualidade da madeira e sua adequada aplicação ao uso final.

3.5 CONCLUSÕES

Em função dos objetivos propostos e de acordo com os resultados obtidos é possível estabelecer as seguintes conclusões:

- A velocidade de propagação obtidas a partir das toras é, para todas as espécies, superior à velocidade de propagação determinada a partir da aplicação da onda nas árvores em pé, tanto no sentido transversal como no sentido diagonal e apresenta menor dispersão de resultados, os quais são observados pelos baixos coeficientes de variação.
- As ondas de tensão aplicadas nas árvores em pé nos sentidos transversal e diagonal nas diferentes espécies demonstraram que não existe um padrão de variação da velocidade de propagação de acordo com o sentido de aplicação.
- As ondas de tensão aplicadas nas toras, de maneira geral, mostraram que a velocidade de propagação aumenta ao longo do fuste.

3.6 REFERÊNCIAS

BUCUR, V. An ultrasonic method for measuring the elastic constants of wood increment cores bored from living trees. **Ultrasonics**, Oxford, v. 21, n. 1, p. 116-126, 1983.

BUCUR, V.; BOHNKE, I. Factors affecting ultrasonic measurements in solid wood. **Ultrasonics**, Oxford, v. 32, n. 5, p. 385 - 389, 1994.

BUCUR, V. **Acoustic of wood**. Nancy, CRC, 1995, 284 p.

BUCUR, V. Acoustics of as a tool for nondestructive testing. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NONDESTRUCTIVE TESTING OF WOOD, 10th. Lausanne, **Proceedings...** Swiss Federal Institute of Technology Chair of Timber Construction 1996. p. 53 - 56.

BUCUR, V. Acoustic as tool for the nondestructive testing of wood. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NONDESTRUCTIVE TESTING CONTRIBUTION TO THE INFRASTRUCTURE SAFETY SYSTEMS IN THE 21ST CENTURY. Torres, **Proceedings...** Federal University of Santa Maria, 1999. p. 70 - 77.

BODIG, J. The Process of NDE Research for Wood and Wood Composites. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NONDESTRUCTIVE TESTING OF WOOD, 12th, Sopron. **Proceedings**, University of Western Hungary, 2000.

CASTELO, P.A.R. **Avaliação da qualidade da madeira de *Pinus taeda* em diferentes sítios de crescimento e espaçamentos, através do método não destrutivo de emissão de ondas de tensão**. 137 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

CHIES, D. **Influência do espaçamentos sobre a qualidade e o rendimento da madeira serrada de *Pinus taeda* L.** 123 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

CRUZ, C.R. **Aplicação de ondas de tensão para estimativa do teor de umidade em madeiras de clones de *Eucalyptus*.** 78 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

DIVÓS, F.; DÁNIEL, I.; BEJÓ, L. Defect detection in timber by stress wave time and amplitude. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NONDESTRUCTIVE TESTING OF WOOD, 12th, Sopron. **Proceedings**, University of Western Hungary, 2000.

DUNLOP, J.L. Testing of poles by using acoustic pulse method. **Wood science and technology**, v. 15, n. 4, p. 301 - 310, 1981.

GALLIGAN, W.L.A. A status report nondestructive testing in Wood. **Forest Products Journal**. Madison, v. 4, n. 5, p. 221 - 227, 1964.

GERHARDS, C.C. Effects of knots on stress waves in lumber. Madison, Department of Agriculture Forest Service, Forest Products Laboratory, 1982. 28p. General Technical. Report.

HALLIDAY, D.; RESNICK, J.W. **Fundamentos de física: Gravitação ondas e termodinâmica**. 8^a. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009, 290 p.

IWAKIRI, S.; MATOS, J.L.M; PINTO, J.A.; VIANA, L.C.; SOUZA, M.M.; TRIANOSKI, R.; ALMEIDA, V.C. Produção de painéis laminados unidirecionais LVL com lâminas de *Schizolobium amazonicum*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus taeda*. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 4, p. 557 - 563, 2010.

JUNG, J. Stress-wave grading techniques on venner sheets. Madison, Department of Agriculture Forest Service, Forest Products Laboratory, 1979. 10p. General Technical. Report.

KOLLMANN, F.F.P.; CÔTÉ, W.A. **Principles of wood science and technology: Solid wood**. New York: Springer, 1968. 592 p.

MATOS, J.L.M. Métodos não destrutivos para avaliação da qualidade da madeira. In: SEMINÁRIO SÓLIDOS DE EUCALIPTO: AVANÇOS CIENTÍFICOS E TECNOLÓGICOS. Lavras, **Anais...** Universidade Federal de Lavras, 2002. p. 76-84.

MATOS, J.L.M. Tendencies and perspectives in non-destructive techniques utilization for evaluation of Wood and wood products properties. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NONDESTRUCTIVE TESTING CONTRIBUTION TO THE INFRASTRUCTURE SAFETY SYSTEMS IN THE 21ST CENTURY. Torres, **Proceedings...** Federal University of Santa Maria, 1999a. p. 120-124.

MATOS, J.L.M. The use of non-destructive stress wave technique for wood venner classification and structural laminated veneer lumber production In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NONDESTRUCTIVE TESTING

CONTRIBUTION TO THE INFRASTRUCTURE SAFETY SYSTEMS IN THE 21ST CENTURY. Torres, **Proceedings...** Federal University of Santa Maria, 1999b. p. 125-129.

MATOS, J.L.M. **Estudo sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *Pinus taeda* L.** 117f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

PIO, N.S. **Produção de painéis estruturais de lâminas paralelas (PLP) de *Eucalyptus grandis* ex-Maiden.** Curitiba, 168f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

PUEHRINGER, C.A. **Uso de emissão de ondas de tensão para avaliação não destrutiva de árvores e da madeira de *Pinus taeda* L.** 104 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

PUEHRINGER, C.A. Caracterização das propriedades da madeira pelo uso de emissão de ondas acústicas. In: ANAIS DO EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 7., Curitiba. **Anais...** Curitiba, UFPR, 1999. p. 618.

ROSS, R.J.; PELLERIN, R.J. NDE of wood-based composites with longitudinal stress wave. *Forest Product Journal*, v. 38, n.5, p. 39-45, 1988.

ROSS, R.J. Nondestructive testing of Wood. In: NONDESTRUCTIVE EVALUATION OF CIVIL STRUCTURES AND MATERIALS, Colorado, **Proceedings...** University of Colorado, 1992. p. 43-47.

ROSS, R.J.; PELLERIN, R.F. **Nondestructive testing for assessing wood members in structures: A review.** Madison, Department of Agriculture Forest Service, Forest Products Laboratory, 1994, 40 p. General Technical. Report.

ROSS, R.J.; BRASHAW, B.K.; PELLERIN, R.F. Nondestructive evaluations of wood. **Forest Products Journal**, v. 48, n.1, p. 14-19, 1998.

ROSS, R. J.; WILLIS, S. W.; SEGEN, W. V.; BLACK, T.; BRASHAW, B. K.; PELLERIN, R. F. A stress wave based approach to NDE of logs for assessing potential veneer quality. Part 1: Small diameter Ponderosa pine. **Forest Products Journal**, Madison, v. 49, n. 11/12, p. 60-62, 1999.

SANDOZ, J.L. Ultrasonic solid wood evaluation in industrial applications. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NONDESTRUCTIVE TESTING OF WOOD,

10th. Lausanne, **Proceedings...** Swiss Federal Institute of Technology Chair of Timber Construction 1996. p. 147.

SAKAI, H.; MINAMISAWA, A.; TAKAGI, K. Effect of moisture content on ultrasonic and attenuation in woods. **Ultrasonics**. Oxford, v. 6, n. 6, p. 382 – 385, 1990.

SANDOZ, L. LORIN, P. Standing Tree Quality Assessments Using Ultrasound. In: EUROPEAN SYMPOSIUM ON NONDESTRUCTIVE EVALUATION OF WOOD, 5th, Sopron. **Proceedings...** University of Western Hungary, 1994. p. 496-502.

SEARS, F.W.; ZEMANSKY, M.W.; YOUNG, H.D. **Física: Mecânica dos fluidos, calor, movimento ondulatório**. 2^a ed. Rio de Janeiro: LTC, 1984.

SHIMOYAMA, V.R.S. **Estimativas de propriedades da madeira de *Pinus taeda* através do método não destrutivo de emissão de ondas de tensão, visando a geração de produtos de alto valor agregado**. 151 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

SOUZA, M.A.M. **Metodologias não destrutivas para avaliação das tensões de crescimento em *Eucalyptus dunnii* Maiden**. 80f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

STATGRAPHICS. Centurion XVI **User Manual**. by StatPoint Technologies, Inc. 2009.

SUCZS, C.C.; PADARATZ, I.J.; SANTOS NETO, A.B.; WERLICH, H.M. Influence of timber humidity in the velocity of propagation of ultrasound. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NONDESTRUCTIVE TESTING CONTRIBUTION TO THE INFRASTRUCTURE SAFETY SYSTEMS IN THE 21ST CENTURY. Torres, **Proceedings...**Federal University of Santa Maria, 1999. p. 102-106.

WANG, X.; ROSS, R.J.; PUNCHES, J.; BARBOUR, R.J.; FORSMAN, F.W.; ERICKSON, J.R. Evaluation of small-diameter timber for value-added manufacturing – A stress wave approach. In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL PRECISION FORESTRY SYMPOSIUM, 2th, Seattle. **Proceedings...** University of Whashington, 2003. p. 91-96.

WANG, X.; ROSS, R.J.; BRASHAW, B.K.; PUNCHES, J.; ERICKSON, J.R.; FORSMAN, J.W.; PELLERIN, R.E. Diameter effect on stress-wave evaluation of modulus of elasticity of logs. **Wood and Fiber Science**, v. 36, n. 3, p. 368-377, 2004.

WANG, X.; DIVÓS, F.; PILON, C.; BRASHAW, B.K.; ROSS, R.J.; PELLERIN, R.F. **Assessment of Decay in Standing Timber Using Stress Wave Timing Nondestructive Evaluation Tools: A Guide for Use and Interpretation.** Madison, Department of Agriculture Forest Service, Forest Products Laboratory, 2004b. 12p. General Technical. Report.

WANG, X.; ROSS, R.J.; CARTER, P. Acoustic evaluation of wood quality in standing trees. Part I: acoustic wave behavior. **Wood and Fiber Science**, v. 39, n.1, p. 28-38, 2007.

ZHANG, H.; WANG, X.; SU, J. Experimental investigation of stress wave propagation in standing trees. **Holzforschung**, v. 65, p. 743-748, 2011.

CAPÍTULO 4

CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO VOLUMÉTRICA DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

CAPÍTULO 4

CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO VOLUMÉTRICA DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

4.1 INTRODUÇÃO

A silvicultura brasileira está voltada principalmente à produção de matéria-prima destinada a suprir as necessidades da indústria de base florestal através de florestas de rápido crescimento, entre elas de *Pinus* e *Eucalyptus*.

Entre as diversas espécies de *Pinus* introduzidas, as espécies de clima tropical e subtropical demonstraram boa adaptação, merecendo atenção especial e desenvolvimento de pesquisas relacionadas à sua silvicultura, crescimento e propriedades tecnológicas da madeira, a fim de estabelecer usos finais adequados a cada espécie.

Atualmente, a falta de informações sobre o crescimento e a produção florestal dessas espécies tem sido um dos fatores que limitam a silvicultura em escala comercial, onde muitas delas são plantadas apenas em nível experimental. Desta forma, é de fundamental importância o conhecimento dos parâmetros que expressam o crescimento, os quais irão permitir a avaliação do potencial de produção dessas espécies, e com isso desenvolver o aproveitamento racional e funcional dos recursos gerados.

Além disso, o monitoramento ou estudo do crescimento de uma árvore ou de árvores que representam um plantio é extremamente importante, pois permite conhecer diversas variáveis, entre elas, a taxa de crescimento, onde em coníferas as diferentes taxas originam incrementos diferenciados, muitas vezes com a formação de anéis de crescimento irregulares.

Essa dinâmica irregular dos anéis de crescimento confere a madeira propriedades irregulares, onde alterações bruscas na taxa de crescimento em

diâmetro, proporcionados muitas vezes por desbastes inadequados, têm ocasionado problemas tecnológicos de processamento, tais como: empenamento, encanoamento, rachaduras internas e de topo, além de outros defeitos. Do ponto de vista estrutural, há uma ruptura na homogeneidade da resistência da madeira, surgindo pontos de fragilidade no material devido à menor resistência do lenho inicial e, desta forma, a resistência geral do material é regulada pela porção menos resistente da estrutura.

Para eliminar este crescimento irregular, tornam-se necessários a execução de desbastes com peso adequado e de acordo com um plano de manejo consistente, os quais permitem a homogeneização da distância entre os anéis de crescimento, eliminando com isso problemas de processamento e tecnológicos, como por exemplo na secagem, além de promover maior estabilidade dimensional das peças e maior qualidade ao produto final.

Além disso, a correta aplicação de desbastes no manejo permite a produção de madeira com características mais adequadas ao processo de desdobro, reduzindo sensivelmente os custos de transformação da matéria prima e a quantidade de subprodutos e resíduos durante o processo de transformação. Permitem ainda, o dimensionamento da velocidade de crescimento das árvores, para que apresentem propriedades físicas, mecânicas e químicas exigidas pelo consumidor e uniformidade e homogeneidade nas características internas da madeira minimizando os custos dos processos industriais.

Considerando que o estudo das características de crescimento possibilita conhecer o potencial de produção de um determinado local e de uma determinada espécie, gerar informações para se produzir madeira com características controladas, prever a qualidade da madeira para fins específicos, avaliar a influência da silvicultura e do manejo florestal sobre a qualidade final da madeira e auxiliar na tomada de decisões sobre os aspectos de produção volumétrica e retorno financeiro, é o objetivo deste capítulo ainda que, de forma preliminar, fornecer informações a respeito das características de crescimento e produção volumétrica de espécies de *Pinus* tropicais. Almeja-se também, evidenciar e fortalecer ainda mais a necessidade de trabalhos conjuntos entre as diferentes áreas da Engenharia Florestal (silvicultura, manejo e tecnologia, principalmente), introduzindo espécies em locais adequados e manejando plantios para fins de uso específicos ou que

agreguem o maior valor possível a floresta, a partir da qualidade da madeira em termos de resistência estrutural, ausência de defeitos, homogeneidade de anéis de crescimento, entre outros.

4.1.1 Objetivo geral

Avaliar as características de crescimento e produção volumétrica de sete espécies de Pinus tropicais a fim de se obter um indicativo do comportamento do crescimento das espécies na região.

4.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar o crescimento em diâmetro, altura total, e produção volumétrica das espécies de Pinus tropicais.
- Apresentar as características de crescimento e produção volumétrica segundo as classes sociológicas, baseadas em inventários pré-existentes.
- Determinar o fator de forma, a proporção de casca e quantidade de matéria seca das espécies estudadas.

4.2 REVISÃO DE LITERATURA

4.2.1 Características de crescimento e produção florestal

A formação da madeira se inicia no processo fotossintético da planta, através da assimilação de água e gás carbônico por parte das árvores, os quais são transformados em substâncias orgânicas. Esse processo é influenciado pelos inúmeros fatores ambientais, onde a interação destes fatores expressa a qualidade do sítio, levando árvores de uma mesma espécie a apresentarem crescimentos diferenciados (GONZALEZ, 2009).

O crescimento é um processo caracterizado por mudanças na forma e no tamanho do tronco, com a adição contínua de novas camadas de lenho ao longo de todo o material existente, já a produção se traduz no total de volume, ou outra variável, acumulada num determinado tempo (CAMPOS; LEITE, 2006). Segundo Davis e Johnson (1987) tanto o crescimento quanto a produção de um povoamento estão relacionados às características locais, as quais podem ser alteradas com a correção do solo, irrigação, e outras técnicas silviculturais. Campos e Leite (2006) complementam ainda, que o crescimento e a produção dependem da idade, da capacidade produtiva, do grau de utilização do potencial produtivo do local, assim como, segundo Daniel, Helms e Backer (1979), da espécie e da seleção genética do material utilizado nos plantios.

A escolha de espécies é um sério problema em países tropicais e subtropicais, onde o uso de uma espécie em um local inadequado pode levar a problemas como produtividade inferior ao potencial da região, elevada susceptibilidade ao ataque de pragas, má adaptação e produção de madeira com baixa qualidade (FERREIRA, 1987). Desta forma, o acompanhamento da introdução de uma espécie a fim de verificar o seu comportamento e conseqüentemente seu crescimento é fundamental, limitando sua introdução ou então expandindo suas áreas.

O crescimento, ou incremento de um povoamento florestal, é, com freqüência, calculado ano a ano pelo incremento corrente anual (ICA) e pelo incremento médio

ao longo do tempo (IMA) (COELHO, 2010), os quais podem ser visualizados a partir da Figura 4.1.

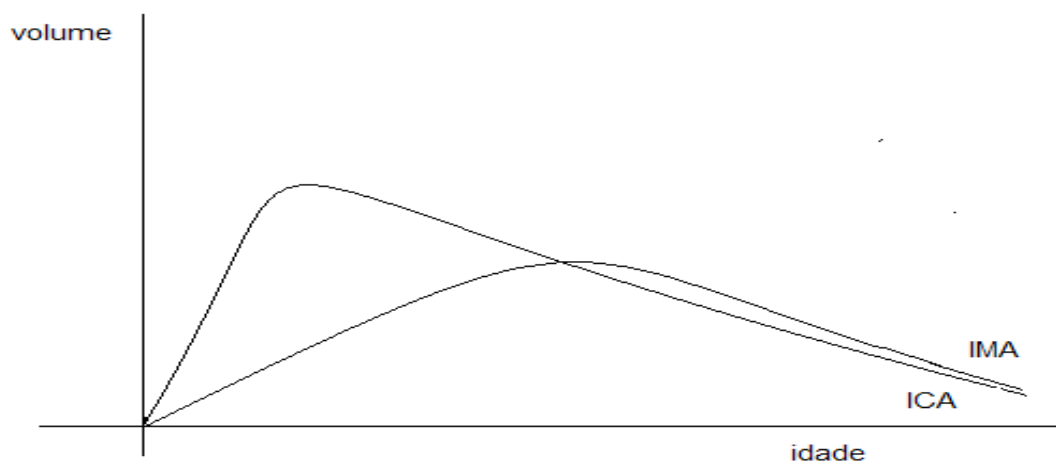


FIGURA 4.1 – CURVAS DE INCREMENTO

Fonte: COELHO (2010)

Quando as duas curvas se cruzam, no ponto máximo de IMA, é verificada a máxima produção biológica, indicando a idade de intervenção no povoamento. Caso as curvas avaliadas sejam curvas de seção transversal, torna-se necessário a execução de um desbaste, já quando se referem a variável volume, a intersecção das curvas indica a idade ótima de corte raso (RODRIGUES, 1991; COELHO, 2010).

Embora a produção de uma floresta seja avaliada principalmente pelo incremento em seção transversal ou pelo volume, outras características são também indicadoras do desempenho vegetativo de uma floresta, assim como da qualidade da madeira, entre elas, o diâmetro, a altura, a forma do fuste, etc. As principais características relacionadas ao crescimento das florestas são apresentadas sucintamente a seguir.

4.2.1.1 Diâmetro

O crescimento das árvores provém basicamente da atividade de dois meristemas: o primário e o secundário. O meristema primário está localizado nas extremidades dos galhos e ponteira da árvore e confere a ela o crescimento em

altura. O meristema secundário situa-se na casca viva (câmbio) da árvore e confere a ela o crescimento em diâmetro (HUSCH; MILLER; BEER, 1982). De acordo com Machado e Figueiredo Filho (2003) o diâmetro é a mais importante das variáveis mensuráveis em uma árvore e no povoamento florestal, constituindo numa medida básica e necessária para o cálculo da área transversal, volume, crescimento, quocientes de forma e área basal.

Juntamente com a área basal, o diâmetro proporciona informações sobre o grau de ocupação das áreas por madeira e sobre o porte da árvore. O seu conhecimento ao longo do tempo é importante para a condução dos estudos de desbaste, pois, quando o diâmetro médio tende a uma constante, é um indicativo que está faltando espaço para as árvores se desenvolverem, e esta informação pode ser utilizada como indicador do momento de desbastar o povoamento (CAMPOS; LEITE, 2006). De acordo com Schneider (1993) o diâmetro e a área basal são parâmetros extremamente afetados pela densidade do povoamento, e segundo Burger (1980) pelos mesmos fatores de crescimento.

Os diâmetros aumentam significativamente até o momento que os indivíduos começam a competir entre si. Essa dinâmica acontece naturalmente, mesmo numa floresta plantada, no entanto, a ação antrópica apenas antecipa o processo com a eliminação das árvores dominadas e conseqüente evolução das árvores nas classes diamétricas (BURGER, 1980).

Nos processos estimativos envolvendo equações de regressão, o diâmetro se constitui na primeira variável independente, por ser de fácil acesso e normalmente apresentar alta correlação com o volume, peso e outras variáveis dependentes (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2003).

De acordo com Campos e Leite (2006) a medida mais comum do diâmetro das árvores é realizada na altura de 1,30 m, isto é, na altura do peito (DAP), a qual, convertida em diâmetro médio ou quadrático se constitui numa estatística bastante esclarecedora, freqüentemente utilizada em resumos de inventário florestais e em simuladores de produção. Por outro lado, segundo estes autores, alguns cuidados devem ser tomados durante a coleta do diâmetro, já que como as seções do tronco raramente são circulares, as medições podem estar sujeitas a pequenos erros de superestimação.

4.2.1.2 Altura

A altura se constitui em outra importante característica da árvore que pode ser medida ou estimada, servindo essencialmente para o cálculo de volume e para o cálculo de incrementos em altura e volume (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2003). Campos, Trevizol e Neto (1985) complementam a importância do conhecimento da altura de uma árvore ou do povoamento relatando que é uma medida necessária para a interpretação do processo de crescimento e incremento volumétrico, fornecendo importante subsídio para a classificação de sítios.

Por outro lado, a variável altura é um termo um tanto ambíguo, em função dos diferentes tipos de alturas que podem ser considerados (HUSCH; MILLER; BEER, 1982), sendo a altura total e a altura comercial as mais importantes num contexto geral.

Em relação aos métodos estimativos, a altura é a segunda variável independente nas tabelas de volume, funções de afilamento e em algumas outras relações dendrométricas (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2003).

4.2.1.3 Volume

O volume constitui uma das informações de maior importância para o conhecimento do potencial florestal em uma região ou de um povoamento florestal, onde o volume individual fornece subsídios para a avaliação do estoque de madeira e análise do potencial produtivo das florestas (MACHADO; CONCEIÇÃO; FIGUEIREDO, 2002; MACHADO; URBANO; CONCEIÇÃO, 2005; THOMAS *et al.*, 2006). Segundo Prodan *et al.* (1997) o volume representa a produção potencial de matéria sólida de um povoamento, sendo caracterizado pelo meio ambiente e pela atividade florestal empregada.

De acordo com Tonini (2000), o volume é a variável dendrométrica que exprime mais diretamente a capacidade produtiva do sítio, porém, apresenta como inconveniente a dificuldade de ser medido em pé com precisão, ser influenciada pela

densidade e ainda a necessidade de se conhecer os volumes removidos nos desbastes ou perdidos por causas naturais.

Estimar o volume das árvores é, na maioria das vezes, a principal finalidade dos levantamentos florestais, notadamente quando se trata de povoamentos destinados à fins comerciais (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2003). Figueiredo Filho *et al.* (2005) complementam relatando que a quantificação do volume sólido em povoamentos florestais é imprescindível para a implementação de planos de manejo sustentável das florestas, sistemas agroflorestais e reposição florestal e Rufini *et al.* (2010) corroboram as informações de Figueiredo Filho *et al.* (2005) afirmando que ao se estimar os volumes total, comercial ou de partes da árvore com precisão, os planos de manejo, as análises de investimento e as tomadas de decisão a respeito do povoamento serão também precisos.

Vários métodos foram desenvolvidos para a determinação de volumes individuais de árvores (MACHADO; URBANO; CONCEIÇÃO, 2005), os quais possuem certa facilidade e acuracidade (FIGUEIREDO FILHO *et al.*, 1993). Entre estes métodos pode-se citar o fator de forma, que é a razão entre volumes, sendo utilizado para corrigir o volume do cilindro para o volume de uma árvore (MACHADO; URBANO; CONCEIÇÃO, 2005) ou o emprego de equações de volume, ajustadas quase sempre a partir de medições do diâmetro na altura do peito e da altura total (FIGUEIREDO FILHO *et al.*, 1993). Segundo Machado, Conceição e Figueiredo (2002) o último método citado é o procedimento mais utilizado para estas estimativas.

4.2.1.4 Fator de forma

Os troncos das árvores apresentam formas características que variam segundo um grande número de fatores, como espécie, sítio, tratamentos silviculturais, idade, aspectos genéticos e outros (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2003). Assim, árvores com o mesmo diâmetro e a mesma altura podem apresentar volumes diferentes, se as formas dos troncos não forem iguais (CAMPOS; LEITE, 2006; SOUZA, 2009).

Desta forma, estudos relacionados ao comportamento das formas do fuste das árvores são extremamente úteis e importantes pois as diferentes formas, além de afetar o volume total das árvores, influencia a quantidade e a qualidade dos multiprodutos extraídos da floresta (FERREIRA, 1999).

De acordo com Finger (1992) a variabilidade da forma do fuste se deve a diminuição sucessiva dos diâmetros no sentido longitudinal, a qual é a razão fundamental para a variação do volume da árvore em função da espécie, diâmetro, manejo e sítio. Scolforo *et al.* (1998) complementam ainda, que cada espécie possui características de afilamento diferenciadas, de acordo com seus diversos estágios de desenvolvimento.

Machado e Figueiredo Filho (2003) afirmam que as árvores podem assumir as mais diferentes formas, desde aquelas perfeitamente assimiláveis a uma figura geométrica, como é o caso das coníferas, até aquelas com formas totalmente irregulares, não comparáveis a quaisquer tipos geométricos, como é o caso de árvores tortuosas típicas do cerrado. Em virtude deste fato, e segundo estes autores, os estudos sobre a forma do fuste foram direcionados aquelas árvores que poderiam ser consideradas como regulares, ou seja, apresentam fustes cujos eixos principais possam ser comparáveis a figuras geométricas definidas, principalmente sólidos geométricos de revolução.

Nas coníferas, os troncos freqüentemente assumem formas similares à sólidos de revolução, estando geralmente entre um cone e uma parabolóide (HUSCH; MILLER; BEER, 1982), permitindo estimar com facilidade e acuracidade o volume. A medida que o tronco se afasta de uma medida regular, mais difícil se torna a aplicação dos conhecimentos matemáticos para determinar com rigor os volumes (MACHADO; FIGEIREDO FILHO, 2003).

De acordo com Scolforo *et al.* (1998) uma das alternativas para quantificar e expressar a forma do fuste das árvores é o fator de forma. Segundo estes mesmos autores, outras alternativas são o quociente de forma, os modelos de afilamento (*taper*), funções *spline*, entre outros.

O fator de forma é definido como um fator de redução do volume do cilindro para o volume real da árvore, ou seja, este fator deve ser multiplicado pelo volume do cilindro para se obter o volume real da amostra. De acordo com Finger (1992) o

fator de forma, após o diâmetro e a altura, constitui a terceira variável, em ordem de importância, na estimação de volumes. Conceição (2004) complementa ainda, que é um método amplamente empregado para esta finalidade, devido a sua simplicidade e facilidade de aplicação.

Segundo Ferreira (1999) o fator de forma é diretamente influenciado pela espécie, espaçamento, desbastes, idade e varia de acordo com a posição onde é calculada a área de seção transversal (g), assim como pelos elementos do ambiente, como temperatura, luz, umidade, vento, etc. Estes fatores afetam o processo fisiológico da árvore e este repercute diretamente na forma das árvores e conseqüentemente no sortimento de produtos madeiráveis oriundos da floresta (ANDRADE *et al.*, 2007).

De acordo com Finger (1992) o crescimento em altura é o elemento que mais influencia o fator de forma, onde duas árvores geometricamente idênticas, porém com alturas diferentes, têm diferentes fatores de forma artificial. Segundo este autor, isso ocorre porque, sendo o fator de forma o resultado de uma divisão do volume cúbico pelo volume do cilindro, a variável altura, embora aplicada no cálculo dos dois volumes, não acarreta uma variação proporcional no volume da árvore quando se toma para comparação o cilindro ideal.

Devido aos fatores acima mencionados, o fuste das árvores possui diferentes formas geométricas, podendo apresentar uma, duas, três e até mesmo quatro diferentes formas ao longo de sua extensão (SOUZA, 2009). Para estar em conformidade com sólidos geométricos, o diâmetro deveria ser tomado na base da árvore, no entanto, devido a praticidade e a irregularidade da seção originada pelo sistema radicular, a área seccional é sempre qualificada na altura do DAP (FERREIRA; 1999).

O fator de forma pode ser real ou verdadeiro e falso ou artificial, dependendo da altura que for medido o diâmetro do cilindro de referência. Se o diâmetro do cilindro for medido numa altura de relativa, o fator de forma será real ou verdadeiro e se for determinado a partir de uma altura absoluta será falso ou artificial (PRODAN *et al.*, 1997; CONCEIÇÃO, 2004).

4.2.1.5 Produção de massa seca

Grande parte dos inventários florestais tradicionais, expressa o volume em metro cúbico ou em estéreo, no entanto, quando a madeira é utilizada para a produção de energia ou celulose é expressa em massa seca (CAMPOS; LEITE, 2006). É um parâmetro de elevada importância, utilizado para classificar árvores e quantificar a produção de matéria seca de um povoamento florestal destinado as finalidades acima descritas (BUSNARDO; GONZAGA; FOELKEL 1983).

Desta forma, ao final da rotação é desejável que se tenha árvores com maior produção de matéria seca, a fim de melhorar os rendimentos (BUSNARDO; GONZAGA; FOELKEL 1983).

De acordo com Berger (2000) a massa seca de uma árvore, é uma variável resultante da multiplicação do volume sólido de madeira pela massa específica básica. Assim, a variação da massa específica pode influir na utilização da madeira e nos custos de transporte, bem como na eficiência dos equipamentos para o seu processamento (CAMPOS; LEITE, 2006).

4.2.2 Análise de tronco

A análise do tronco é uma técnica que permite o levantamento do crescimento passado de uma árvore pela medição de seus anéis de crescimento (HUSCH; MILLER; BEER, 1982), a partir da qual se pode conhecer o crescimento em diâmetro e volume (CAMPOS; LEITE, 2006). É uma técnica que pode ser efetuada a partir da análise completa do tronco (ACT), onde são medidos os anéis em seções transversais em diferentes alturas e análise do tronco parcial (APT), efetuada na árvore em pé, por meio da extração de uma bagueta da árvore, geralmente a 1,30 m (CAMPOS; LEITE, 2006; COELHO, 2010), a qual permite, além de determinar o crescimento, permite avaliar a qualidade de uma árvore em diferentes períodos de sua vida (FINGER, 1992).

É empregada em árvores cujos anéis de crescimento são visíveis, como nas coníferas. Segundo Campos e Leite (2006) o material para esta análise deve ser

coletado preferencialmente no inverno, quando ocorre menor crescimento vegetativo, contribuindo para reduzir eventuais erros de não amostragem.

Nas empresas florestais a análise de tronco tem sido utilizada, principalmente, para verificação das taxas de incremento médio da floresta, para avaliação da reação do crescimento a tratos culturais ou a determinadas práticas de manejo e para o desenvolvimento de equações de índice de sítio (ROSOT *et al.*, 2003).

4.3 MATERIAIS E MÉTODOS

4.3.1 Informações a respeito do local de coleta

As espécies utilizadas são provenientes de dois plantios florestais da empresa Valor Florestal. O primeiro deles, engloba 6 espécies (*Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Pinus chiapensis*, *Pinus maximinoi*, *Pinus oocarpa*, *Pinus tecunumanii*, e a espécie utilizada como testemunha (*Pinus taeda*) e está localizado na unidade experimental Fazenda Moquém, em Ventania – PR. As espécies *Pinus caribaea* var. *caribaea* e *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, são provenientes da unidade experimental localizada em Itararé – SP.

Para eliminar as possíveis influências de variação sobre o crescimento (solo, altitude, clima), o *Pinus taeda* utilizado como espécie de referência foi coletado na mesma área experimental. A região dos plantios localiza-se numa área de transição (2º Planalto Paranaense) onde se supõe que abaixo destas coordenadas não seja adequado o plantio de *Pinus* tropicais, e acima destas coordenadas não seria recomendável o plantio de *Pinus taeda*.

Os dados de crescimento e das propriedades tecnológicas são um indicativo das condições observadas nos locais de plantio sob o ponto da silvicultura, manejo e tecnologia, e indicam que estudos ou introdução de novas espécies devem ser realizadas em conjunto entre as áreas de conhecimento da Engenharia Florestal.

4.3.2 Coleta de árvores e seccionamento do fuste

Após a seleção das árvores (5 por espécie) e determinação do tempo de propagação das ondas de tensão nas árvores em pé, as mesmas foram derrubadas e seccionadas ao longo do fuste para a determinação do tempo de propagação das ondas nas referidas toras, conforme descrito no Capítulo 2. Vale lembrar que a amostragem das árvores foi baseada em dados de inventários do experimento, o qual era acompanhado ano a ano pela empresa, e que as árvores selecionadas

foram representativas da distribuição diamétrica do povoamento. Para estudos tecnológicos a norma COPANT recomenda o número mínimo de 5 árvores por espécie, sendo então coletadas 3 árvores com diâmetro médio, 1 com diâmetro acima e 1 com diâmetro abaixo.

Nesta etapa, foram também coletadas a altura total e a altura comercial (diâmetro mínimo: aproximadamente 8 cm). Durante o seccionamento foram obtidos discos em duplicata nas alturas relativas a 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial, para a simulação do crescimento, determinação da produção volumétrica individual e determinação de algumas características e propriedades tecnológicas da madeira.

A Figura 4.2 relembra a etapa de derrubada das árvores, seccionamento das toras e obtenção dos discos para as análises acima mencionadas.



FIGURA 4.2 – DERRUBADA DAS ÁRVORES, SECCIONAMENTO E COLETA DOS DISCOS

4.3.3 Preparação das amostras e medição

Para a simulação do crescimento um dos discos de cada altura foi separado e mantido sob condições adequadas para secagem natural, até a obtenção da umidade de equilíbrio.

Após obtenção desta condição, deu-se prosseguimento nesta etapa da pesquisa com a preparação da superfície de um dos lados do disco. A preparação consistiu em lixamento, onde foram utilizadas lixas com granulações de 60, 120, 160 e 320. Finalizado o lixamento, foi identificado o raio de maior comprimento no sentido medula-casca. Em seguida mediu-se 45° a partir deste raio, sendo traçadas duas linhas perpendiculares entre si, obtendo-se desta forma 4 raios para a realização das medições. As medições foram efetuadas com uma escala graduada calibrada, determinando-se a distância de cada anel de crescimento em relação à medula. A preparação da superfície e a determinação dos raios de medição são apresentadas na Figura 4.3.



FIGURA 4.3 – PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE E ESTABELECIMENTO DOS RAIOS DE MEDIÇÃO

4.3.4 Processamento dos dados

Após a coleta dos dados, foi efetuada interpolação para obtenção das informações referentes à altura do DAP. Os dados foram submetidos à simulação do crescimento e da produção volumétrica individual por meio do software FlorExel (ARCE, 2012), o qual se baseia nos simuladores SisPinus e SisEucalyptus.

A partir do Módulo de Anatro (Análise de Tronco) foram geradas as informações da evolução dos diâmetros com e sem casca, evolução da altura total, evolução dos volumes totais e perfil da forma do fuste.

O fator forma artificial ($f_{1,3h}$) da árvore com e sem casca foi obtido a partir da razão entre o volume cubado e volume do cilindro. Os dados referentes a esta variável foram obtidos para a idade de 17 anos de idade. Já o volume e o percentual de casca foram determinados a partir da diferença entre os volumes de madeira com e sem casca.

A quantidade média de massa seca por árvore foi calculada a partir da relação entre volume médio de madeira sem casca e a propriedade de massa específica básica, descrita e apresentada detalhadamente no Capítulo 7.

O estabelecimento das classes sociológicas foi efetuado de acordo com as informações do inventário realizado nas áreas de plantio, e segundo os procedimentos de amostragem da norma COPANT, que recomenda um número mínimo de 5 indivíduos para estudos tecnológicos, utilizando-se assim, uma árvore para a classe inferior, uma para a classe superior e três árvores para a classe média.

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.4.1 Características de crescimento e produção volumétrica

Os resultados médios obtidos para o diâmetro na altura do peito, altura total e volume por árvore das espécies estudadas são apresentados na Tabela 4.1.

Para todas as espécies foi estabelecida a idade de 17 anos para a quantificação das características de crescimento, e posteriormente para fins de comparação das variáveis sob um mesmo parâmetro.

No Gráfico 4.1 é apresentado o perfil gráfico de uma das árvores de *Pinus oocarpa*, a partir do qual se baseou todos os cálculos.

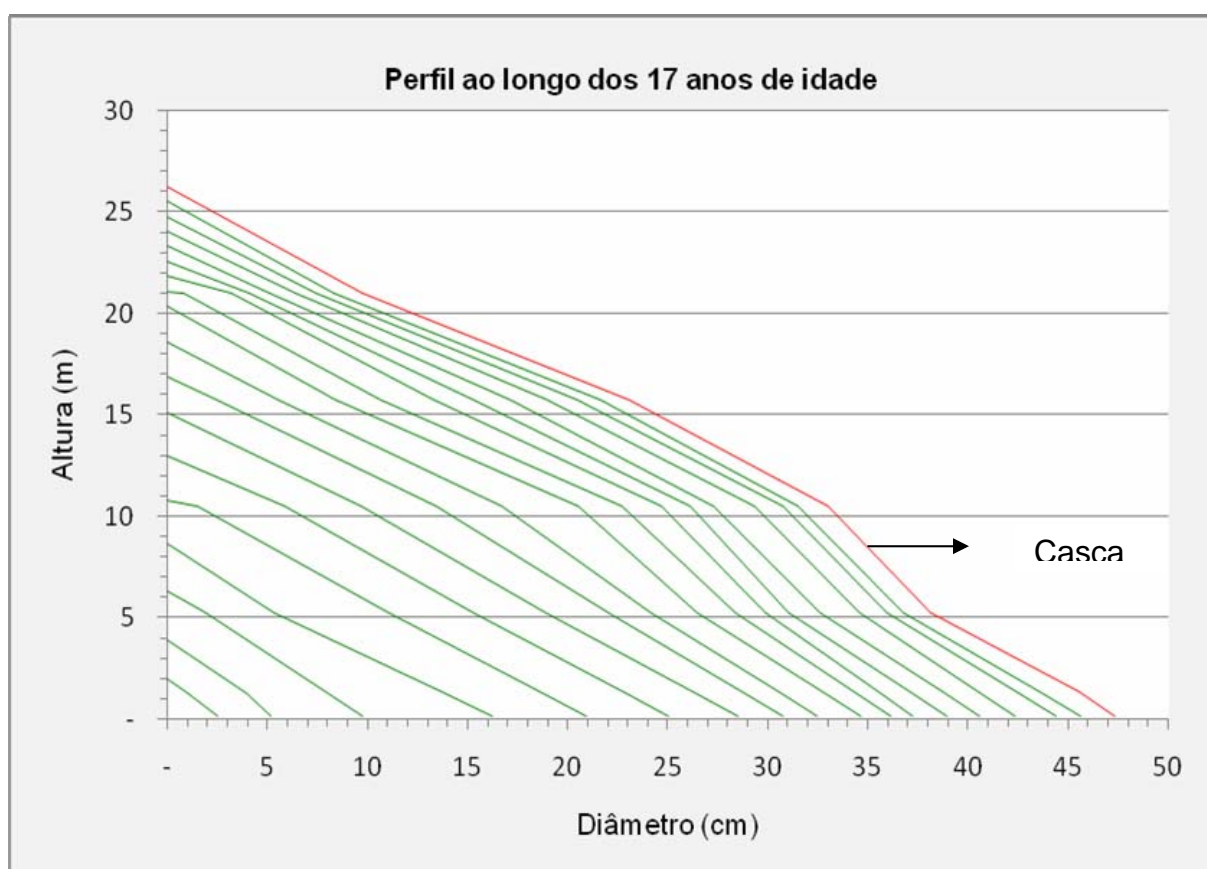


GRÁFICO 4.1 – PERFIL DE CRESCIMENTO EM ALTURA E DIÂMETRO DE UMA ÁRVORE DE *Pinus oocarpa*, AOS 17 ANOS DE IDADE

TABELA 4.1 – RESULTADOS MÉDIOS DE DIÂMETRO NA ALTURA DO PEITO, ALTURA TOTAL E VOLUME INDIVIDUAL COM CASCA

Espécie	DAP¹ (cm)	Altura (m)	Volume c/c (m ³)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	33,16 b (4,66)	26,86 a (27,02)	1,017 ab (5,76)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	34,45 b (13,03)	26,34 a (1,92)	1.167 ab (18,79)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	36,77 ab (15,16)	24,11 a (6,89)	1,099 ab (29,34)
<i>Pinus chiapensis</i>	47,00 a (9,77)	28,46 a (10,43)	1,608 a (32,76)
<i>Pinus maximinoi</i>	42,91ab (16,39)	26,07 a (7,56)	1,350 ab (31,78)
<i>Pinus oocarpa</i>	37,19 ab (10,23)	25,21 a (9,29)	1,218 ab (24,91)
<i>Pinus tecunumanii</i>	43,18 ab (21,95)	24,22 a (3,13)	1,445 a (46,88)
<i>Pinus taeda</i>	33,46 b (15,04)	17,75 b (4,11)	0,670 b (30,73)
<i>p</i>	0,002*	0,000*	0,000*

¹ Diâmetro na altura do peito (c/c); Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna são estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade. *Significativo a 5% de probabilidade; Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.

De acordo com a Tabela 4.1, nota-se que o *Pinus chiapensis* apresentou o maior valor médio para a variável diâmetro na altura do peito, diferenciando-se estatisticamente do *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, do *Pinus caribaea* var. *caribaea* e do *Pinus taeda*. Verifica-se também que nenhuma das espécies de *Pinus* tropicais apresentou média estatisticamente inferior a testemunha (*Pinus taeda*).

Para a variável altura total, o maior valor médio foi também apresentado pelo *Pinus chiapensis*, o qual não apresenta diferença estatística significativa em relação à nenhuma outra espécie de *Pinus* tropicais, somente em relação ao *Pinus taeda*.

Em relação ao volume médio individual com casca, assim como nas demais variáveis e também em consequência delas, o *Pinus chiapensis* apresentou a maior quantidade de madeira produzida ao longo de 17 anos de crescimento. Já o menor volume médio foi obtido a partir do *Pinus taeda*.

Considerando os resultados médios obtidos para as variáveis de crescimento a partir das espécies de *Pinus* tropicais e da espécie testemunha (*Pinus taeda*), nota-se, que o *Pinus taeda* apresentou o menor índice de crescimento. Este resultado pode ser explicado em parte, pelo fato de que o *Pinus taeda* é uma espécie de clima temperado, e as regiões onde foram instalados os experimentos, são regiões de transição com clima um pouco mais quente, podendo ter favorecido mais o crescimento das espécies de *Pinus* tropicais

A evolução ao longo dos anos, tanto para as características de crescimento quanto para os índices de incremento são apresentadas a partir das tabelas e gráficos a seguir.

4.4.1.1 Crescimento em diâmetro

A Tabela 4.2 e O Gráfico 4.2 demonstram o comportamento do crescimento em diâmetro na altura do peito (DAP) das espécies de *Pinus* tropicais estudadas.

TABELA 4.2 – EVOLUÇÃO DO DIÂMETRO (C/C) NA ALTURA DO PEITO AO LONGO DOS 17 ANOS DE CRESCIMENTO

Espécie	<i>P.c.bahamensis</i>	<i>P.c.caribaea</i>	<i>P. c. hondurensis</i>	<i>P. chiapensis</i>	<i>P. maximinoi</i>	<i>P. oocarpa</i>	<i>P. tecunumanii</i>	<i>P. taeda</i>
Idade (anos)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
1	0,99	1,25	1,45	1,64	1,49	1,30	1,20	1,12
2	1,86	3,44	3,54	3,58	3,84	3,10	3,39	3,02
3	5,25	6,40	6,53	6,80	7,81	6,18	7,66	6,00
4	9,18	10,07	10,25	10,09	13,21	10,16	12,56	9,48
5	13,79	13,52	13,44	13,80	17,94	14,08	17,20	13,45
6	16,62	16,68	16,32	17,97	22,15	17,92	21,18	16,88
7	18,94	19,79	18,71	21,68	25,56	20,73	24,14	19,74
8	20,91	22,53	20,94	25,75	28,02	22,96	26,02	22,09
9	22,28	24,51	23,03	29,39	29,97	24,83	27,73	24,75
10	23,74	25,91	25,51	32,92	32,24	27,02	29,82	26,64
11	25,39	27,40	27,34	35,57	33,93	28,37	31,48	27,61
12	26,90	28,62	28,97	38,06	35,26	29,76	33,19	28,71
13	28,43	30,18	30,64	40,15	36,60	31,55	35,53	29,92
14	29,83	31,39	32,20	42,05	37,98	32,76	37,50	31,06
15	31,00	32,45	34,01	43,86	39,90	34,52	39,90	32,15
16	32,04	33,45	35,57	45,67	41,84	36,05	41,85	32,88
17	33,16	34,45	36,76	47,00	42,91	37,19	43,18	33,46

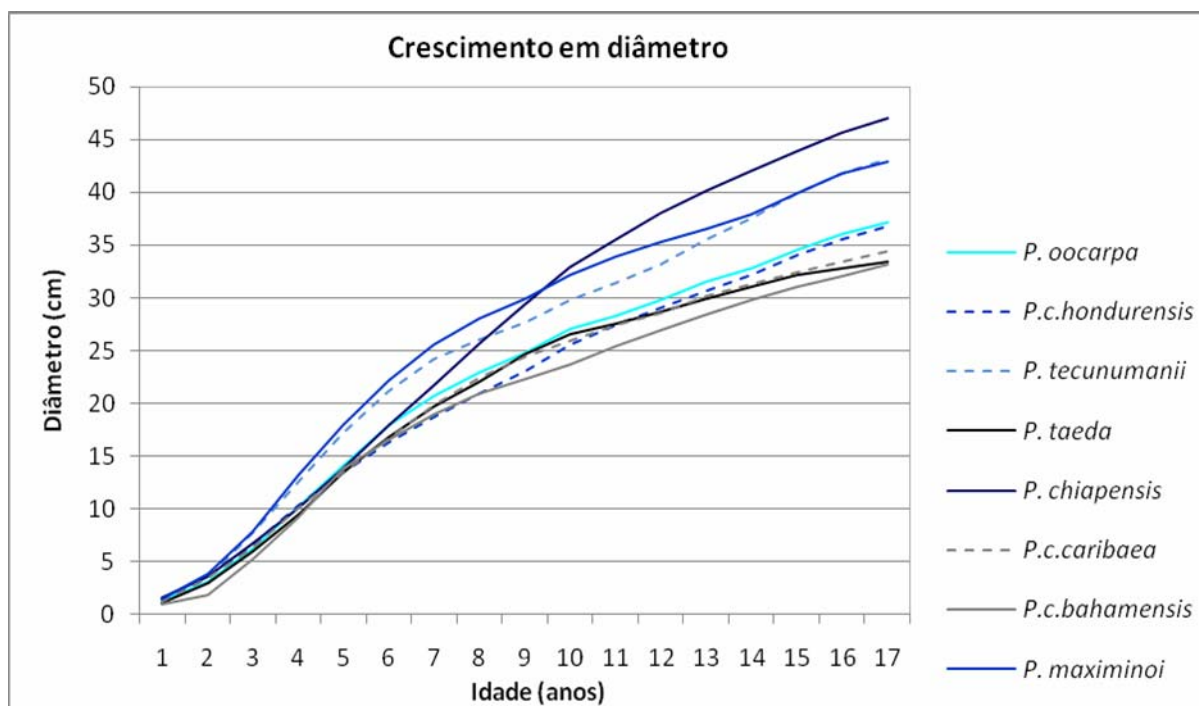
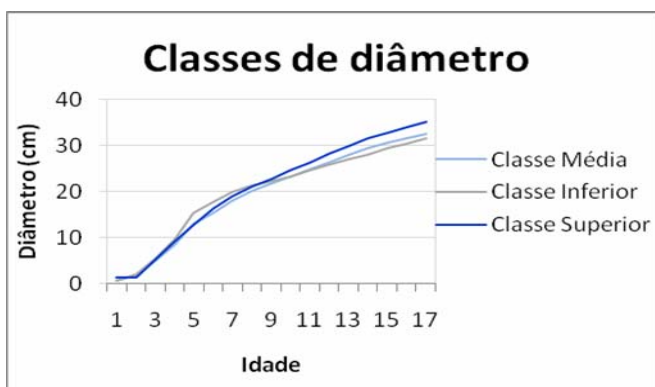


GRÁFICO 4.2 – CRESCIMENTO EM DIÂMETRO DAS ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

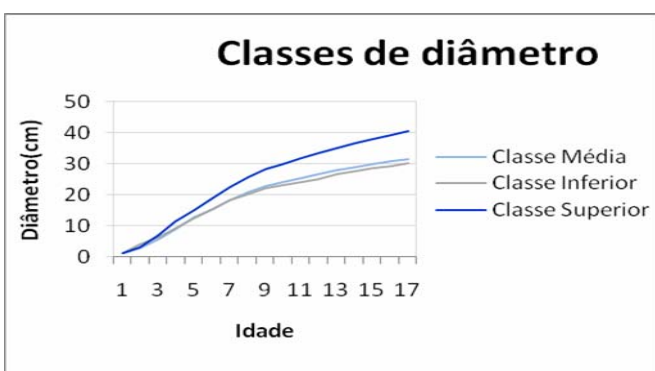
De acordo com o gráfico acima, pode-se verificar que o *Pinus chiapensis* apresentou o maior crescimento em diâmetro, se destacando entre as espécies de Pinus tropicais. Por outro lado, verifica-se que o *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, apresentou o menor crescimento durante o período avaliado.

Após o início da concorrência entre árvores, em consequência do fechamento do dossel pelas copas, começa a diferenciação das classes sociológicas, onde alguns indivíduos se sobressaem do dossel da floresta, enquanto outros são dominados. Desta forma, árvores dominantes e dominadas apresentam características distintas, gerando diferentes estratos sociais ou classes sociológicas.

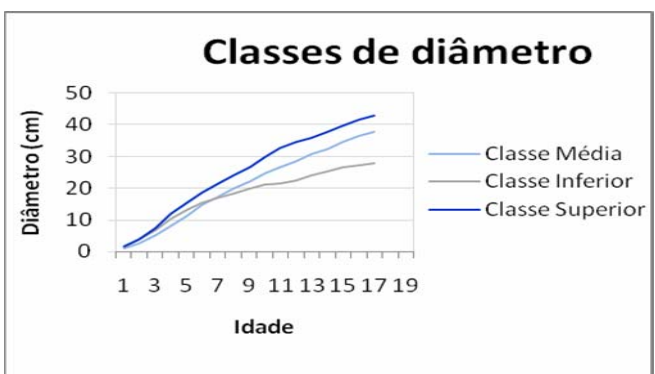
Em função da importância e das diferentes características de cada estrato social, são apresentadas a seguir as classes sociológicas de diâmetros das espécies estudadas.

Classes de diâmetro do *Pinus caribaea* var. *bahamensis*

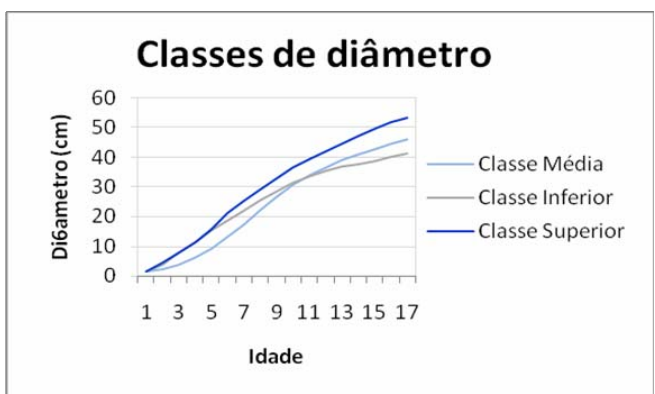
Classes de diâmetro	
Classes	(cm)
Inferior	31,60
Média	32,57
Superior	35,23

Classes de diâmetro do *Pinus caribaea* var. *caribaea*

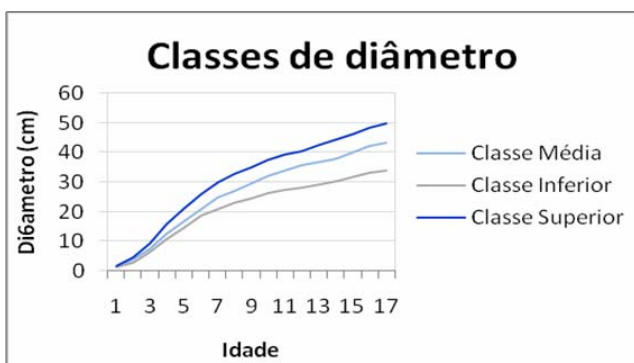
Classes de diâmetro	
Classes	(cm)
Inferior	30,30
Média	31,47
Superior	40,65

Classes de diâmetro do *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

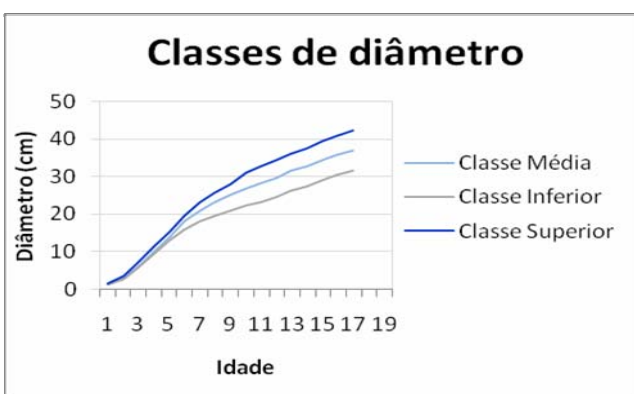
Classes de diâmetro	
Classes	(cm)
Inferior	27,77
Média	37,97
Superior	42,92

Classes de diâmetro do *Pinus chiapensis*

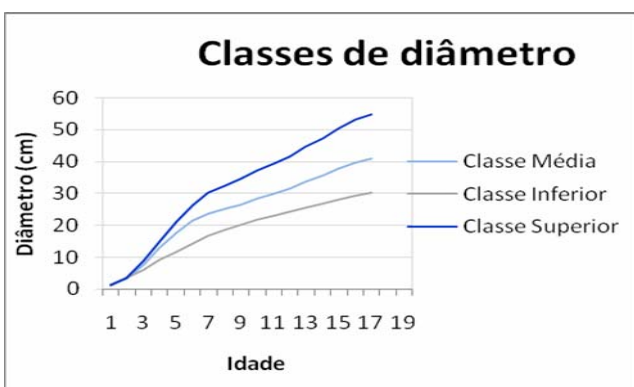
Classes de diâmetro	
Classes	(cm)
Inferior	41,20
Média	45,90
Superior	53,14

Classes de diâmetro do *Pinus maximinoi*

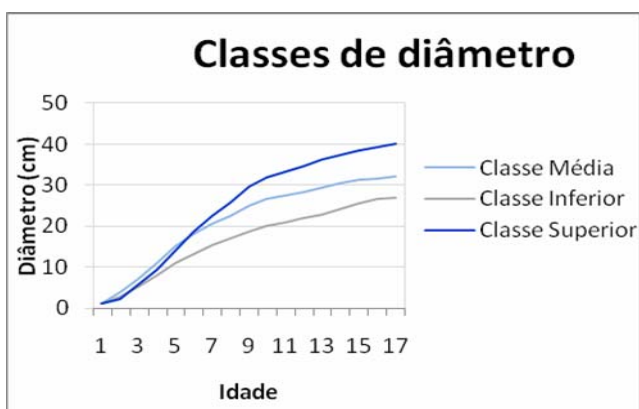
Classes de diâmetro	
Classes	(cm)
Inferior	34,06
Média	43,43
Superior	49,78

Classes de diâmetro do *Pinus oocarpa*

Classes de diâmetro	
Classes	(cm)
Inferior	31,67
Média	36,87
Superior	42,27

Classes de diâmetro do *Pinus tecunumanii*

Classes de diâmetro	
Classes	(cm)
Inferior	30,25
Média	40,94
Superior	54,80

Classes de diâmetro do *Pinus taeda*

Classes de diâmetro	
Classes	(cm)
Inferior	26,86
Média	32,02
Superior	40,15

Pinus caribaea var. *bahamensis*

Comparando os resultados médios de diâmetro para as diferentes espécies e idades (Tabela 4.2) com valores apresentados em outras pesquisas, verifica-se que Zheng, Ennos e Wang (1994) avaliando parâmetros genéticos de diversas procedências do *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, na China, obtiveram para árvores de 2,5 anos, DAP médio de 5,30 cm. Nesta pesquisa o valor médio obtido por interpolação para esta idade (2,5 anos), foi de 3,56 cm. Nota-se que o crescimento em solo brasileiro apresentou-se inferior.

Barnes *et al.* (1977) avaliando árvores desta mesma espécie a partir de diferentes procedências localizadas na Rodésia, com 6 anos de idade, obtiveram valores de DAP de 10,36 cm a 10,83 cm, sendo estes valores inferiores ao valor de 16,62 cm obtido neste trabalho. Já em relação aos resultados descritos por Capitani *et al.* (1980) de 17,20 cm, a partir de plantios localizados em Sacramento –MG, com idade de 6,4 anos, verifica-se que os diâmetros dos indivíduos avaliados são semelhantes, mesmo crescendo em regiões distintas, onde por interpolação, o diâmetro médio para 6,4 anos neste trabalho seria de aproximadamente 17,55 cm.

Considerando os resultados de DAP encontrados por Moura, Parca e Silva (1991) a partir de procedências implantadas na região do cerrado com 12 anos, com valor médio de 13,20 cm, observa-se que este resultado é bastante inferior ao valor médio deste trabalho para a mesma idade (26,90 cm). A provável explicação para o baixo crescimento está associado a adaptação, onde tais autores afirmam que a espécie não apresentou boa adaptação neste tipo de clima.

Missio *et al.* (2004) em estudo de seleção genética, obtiveram para progênies de 13 anos localizadas no Mato Grosso do Sul, DAP médio de 20,63 cm, cujo valor é inferior ao resultado de 28,43 cm para a idade de 13 anos encontrado neste trabalho, assim como o resultado do presente trabalho é superior também ao DAP obtido por Sebbenn *et al.* (2010) para experimento com mesma idade, no entanto, situado da região de Assis - SP, cujo diâmetro médio na altura do peito foi de 22,96 cm.

Em relação aos resultados mencionados por Florsheim (2010), para árvores de 16 anos, verifica-se que o diâmetro médio encontrado por esta autora (25,38 cm), foi também inferior ao desta pesquisa de 32,04 cm para a idade em questão.

Pinus caribaea var. *caribaea*

Para a espécie *Pinus caribaea* var. *caribaea*, Quintana, Brito e Nolazco (2007) descrevem a partir de ensaio de procedência em Cuba, com 5 anos de idade, DAP de 5,04 cm e Barnes *et al.* (1977) estudando procedências de *Pinus caribaea* na Rodésia, com 6 anos, encontraram DAP de 10,40 cm, onde em ambos os estudos, os diâmetros nas suas respectivas idades foram inferiores os valores médios obtidos nesta pesquisa.

Considerando os resultados de Silva (2005) para esta mesma espécie, a partir de avaliação dos parâmetros genéticos em plantios localizados na região de Selvíria – MS, nota-se que a autora obteve para indivíduos de 14,30 anos DAP médio no intervalo de 21,07 cm a 24,85 cm e para a idade de 16,30 anos o resultado médio do diâmetro foi de 26,11 cm. Considerando estes resultados, é possível observar que para ambas as idades, os diâmetros médios obtidos nesta pesquisa foram superiores, demonstrando que no sítio de crescimento de Itararé – SP, o crescimento foi maior.

Pinus caribaea var. *hondurensis*

Para a variedade *hondurensis*, Serpe e Watzlawick (2009) estudando árvores de 4 anos no Oeste do Paraná, determinaram diâmetro médio de 8,70 cm, sendo este valor similar ao diâmetro médio obtido para a mesma idade nesta pesquisa. Já Sampaio (1996) em estudo da variação genética em progênies de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com 5 anos, instaladas em Tibagi – PR, obteve DAP médio entre 10,40 cm e 18,40 cm, onde alguns destes resultados podem ser considerados similares ao obtido neste trabalho para 5 anos (10,25 cm) e outros são relativamente superiores.

Em relação ao intervalo de variação de diâmetros encontrados por Barnes *et al.* (1977) em procedências de 6 anos na Rodésia, cujos valores variaram entre 11,80 cm a 12,51 cm, nota-se, que neste caso, o diâmetro médio apresentado pelas árvores utilizadas neste estudo (16,32 cm), com mesma idade, foi superior, indicando desta forma, que o sítio de Ventania – PR, apresenta-se mais produtivo.

Já Capitani *et al.* (1980) avaliando potencial desta espécie para resinagem, obtiveram para árvores de 7,6 anos provenientes da região de Sacramento – MG, DAP de 18,90 cm, onde para a mesma idade as árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* utilizadas nesta pesquisa apresentaram valor médio de 20,05 cm, podendo-se dizer desta forma, que ambas as regiões promoveram crescimento similar em termos de diâmetro.

Pelissari Lanssanova e Drescher (2011) ajustando modelos volumétricos para as espécies de *Pinus* tropicais em povoamentos homogêneos com espaçamento 2 m x 2 m no estado de Rondônia, obtiveram diâmetros de 8,17 cm, 10,52 cm, 12,35 cm, 13,62 cm, 14,62 cm, 15,46 cm, 16,13 cm, 16,79 cm e 17,19 cm para as idades de 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12 anos respectivamente. Comparando estes resultados com os apresentados na Tabela 4.2 para a mesma espécie, nota-se que todos os diâmetros para as respectivas idades foram superiores ao experimento de Rondônia, podendo estes resultados ser justificados pelas condições climáticas, solo, espaçamento e por se tratar de diâmetros sem casca.

Considerando os resultados apresentados pela literatura para a idade de 12 anos, verifica-se que Moura, Parca e Silva (1991) avaliando árvores em diferentes sítios localizados no cerrado, obtiveram valores entre 15,60 cm a 16,80 cm, Moura e Dvorak (2001) analisando um ensaio de procedências em Planaltina – DF encontraram diâmetros no intervalo de 20,40 cm a 23,40 cm e Moraes (2001) obteve para experimento em Selvíria – MS, DAP médio de 22,21 cm. Nota-se, que para os três estudos acima citados, os diâmetros são inferiores ao diâmetro encontrado neste trabalho, de 28,97 cm, indicando que regiões de cerrado possuem, neste caso, menor potencial de crescimento, no entanto devendo ser considerado qualidade genética das mudas. Moraes *et al.* (2007) a partir de indivíduos localizados em Agudos – SP com idades de 12, 13 e 14 anos, obtiveram diâmetro entre 19,32 cm e 25,04 cm, e Sebbenn *et al.* (2010) encontraram para plantio de 13 anos em Assis – SP, diâmetros de 23,58 cm em árvores geneticamente

selecionadas e 21,75 cm para os indivíduos da mesma espécie, no entanto, utilizados como testemunha (sem seleção genética). Para ambos os estudos, o crescimento das árvores em Ventania – PR foi superior, onde o diâmetro médio para 12, 13 e 14 anos, conforme Tabela 4.2 foi de 28,97 cm, 30,64 cm e 32,20 cm, respectivamente.

Para a idade de 16 anos, o valor médio encontrado na literatura foi de 22,87 cm a partir de árvores localizadas na região de Agudos – SP (BARRICHELO, 1979) e para 17 anos o diâmetro médio foi de 17,00 cm a partir de estudo conduzido por Montagna *et al.* (1983) em plantios localizados em Mogi-Mirim – SP. Ambas as pesquisas também indicam diâmetro médio inferior para as respectivas idades quando comparadas com este trabalho.

Pinus chiapensis

Para o *Pinus chiapensis*, Carrasco (1998) relata a ocorrência de diâmetros de até 111 cm, cujas populações naturais estão crescendo sem competição. Segundo este autor, em populações mais adensadas o diâmetro médio varia entre 5-20 cm. Considerando florestas plantadas, Mendes (2001) obteve diâmetro médio de 31,94 cm, para árvores de 11 anos, cujo valor é ligeiramente inferior ao valor de 35,57 cm encontrado neste trabalho para esta mesma idade a partir de árvores provenientes do mesmo sítio de crescimento. Esta pequena diferença entre os diâmetros dos dois estudos, está provavelmente, associada a amostragem.

Pinus maximinoi

Em relação ao *Pinus maximinoi*, Sampaio (1996) estudando a variabilidade genética de testes de procedências e progênies com cinco anos de idade, localizados em Ventania – PR, (mesmo plantio), obteve DAP na faixa de variação de 15,60 cm a 17,40 cm, sendo estes resultados similares aos determinados por interpolação e pela técnica de anatro. Klock (2000) avaliando a qualidade da madeira deste mesmo plantio aos 10 anos de idade, encontrou DAP médio de 28,07

cm, sendo este valor ligeiramente inferior aos resultados deste trabalho, cuja diferença de diâmetro pode ser atribuída provavelmente à amostragem das árvores. Já Mendes (2001), também avaliando este plantio para produção de painéis de partículas orientadas, obteve para árvores com 11 anos, diâmetro médio de 28,75 cm, onde este valor foi também inferior ao diâmetro médio obtido para as árvores utilizadas neste estudo.

Fies (2001) assim como Sampaio (1996) avaliando a variabilidade genética de progênies e procedências, no entanto em Telêmaco Borba – PR, obteve para árvores de 8 anos, DAP médio de 20,59 cm, sendo este resultado, inferior ao valor médio de 28,02 cm obtido neste trabalho.

Já Gapare, Hodge e Dvorak (2001) avaliando o comportamento desta espécie no Brasil (Jaguariaiva - PR e Grão Mogol - MG), na África do Sul e na Colômbia, aos 5 e 8 anos, obtiveram diâmetro médio de 14,40 cm e 12,70 cm, 16,20 m e 15,70 cm, 17,80 cm e 21,70 cm, respectivamente. Relacionando estes valores com o diâmetro médio obtido neste trabalho para as duas idades, verifica-se que em todos os sítios de crescimento os resultados médios foram inferiores, no entanto, o plantio localizado na Colômbia, foi o que apresentou crescimento em diâmetro mais próximo ao diâmetro aqui obtido.

Kietzka (1988) avaliando *Pinus maximinoi* na África do Sul, a partir de 3 procedências (Honduras, Guatemala e Nicarágua) obteve para árvores de 4,8 anos de idade, DAP no intervalo de 6,5 cm a 7,4 cm. Considerando esta mesma espécie a partir do plantio estudado, verifica-se que o diâmetro médio neste trabalho para a idade de 5 anos foi de 17,94 cm, sendo bastante superior, o qual pode ser justificado pelo excelente potencial produtivo encontrado no Brasil. Já Malan (2006) estudando a qualidade da madeira de *Pinus maximinoi* também localizado na África do Sul, no entanto com 15 anos de idade, obteve diâmetro médio entre 33,30 cm e 38,30 cm, sendo os valores inferiores ao valor de 39,90 cm encontrado neste trabalho e confirmando com isso, melhores condições de crescimento e conseqüentemente maior potencial produtivo.

Pinus oocarpa

Para o *Pinus oocarpa*, resultados de crescimento médio em diâmetro obtido por Kageyama *et al.* (1977) a partir de árvores com 4 anos da região de Agudos - SP, indicaram valor médio de 11,25 cm, e Serpe e Watzlawick (2009) também para a mesma idade, no entanto, a partir de plantio localizadas no Oeste do Paraná, obtiveram valor médio de 9,33 cm. Verifica-se que os valores médios de ambos os estudos são similares ao diâmetro médio determinado deste trabalho (10,16 cm), para a idade em discussão.

Brasil, Nicolielo e Veiga (1980) a partir de experimento localizado na região de Águdos – SP, obtiveram para as idades de 7 anos, diâmetro médio de 12,62 cm, já Capitani *et al.* (1980) encontraram para plantio de 7,6 anos na região de Sacramento – MG, diâmetro de 17,80 cm. Comparando estes resultados com a idade de 7 anos, nota-se que o resultado obtido por Brasil, Nicolielo e Veiga (1980) é bastante inferior ao deste estudo, e o valor médio encontrado por Capitani *et al.* (1980), mesmo inferior, se aproxima mais do resultado obtido nesta pesquisa.

Para a idade de 9 anos, Sampaio (1996) analisando o comportamento de progênies e procedências em Angatuba - SP, obteve diâmetros no intervalo de 22,70 cm a 23,20 cm e Mendes (2001) para plantio de 11 anos encontrou diâmetro de 31,09 cm. Comparando estes resultados com os apresentados na Tabela 4.2 para as referidas idades, observa-se que para 9 anos o diâmetro foi de 24,83 cm e para a idade de 11 anos, 28,37 cm, onde para ambas as situações os resultados podem, mesmo com as diferenças encontradas, ser considerados similares entre si.

Considerando a idade de 14 anos, os diâmetros encontrados na literatura foram de 21,00 cm em plantios localizados em Sacramento - MG (CAPITANI *et al.*, 1980), 24,75 cm para plantios em Águdos – SP (KLOCK, 1989), 18,69 cm a partir de indivíduos provenientes de Minas Gerais (MENDES *et al.*, 2001), onde no presente estudo, o diâmetro médio para a idade em discussão foi de 32,76 cm, sendo este valor superior em todos os estudos citados. Já para a idade de 15 anos, Barros *et al.* (2002) obtiveram diâmetros no intervalo de 18,00 cm e 32,10 cm, sendo tais valores, também inferiores aos resultados deste trabalho.

Em relação a idade de 18 anos, estudo conduzido por Klock (1989) apresentou diâmetro médio de 29,00 cm em plantio localizado em Águdos – SP e Etori *et al.* (2002) obtiveram valores médios entre 18,50 cm e 21,36 cm para diferentes sítios também em São Paulo, verificando-se que para as pesquisas relatadas, mesmo com um ano a menos (17 anos) os diâmetro apresentado na Tabela 4.2 foi superior. Resultado similar foi também evidenciado a partir do estudo de Sansígolo e Barreiros (2004) que em avaliação da madeira de *Pinus oocarpa* para a produção de celulose, determinaram para plantio de 20 anos, diâmetro médio de 23,10 cm.

Pinus tecunumanii

Analisando os diferentes diâmetros encontrados para o *Pinus tecunumanii*, observa-se que Vieira e Shimizu (1998) avaliando o potencial produtivo desta espécie em Rondônia a partir de testes de progênies e procedências com 6 anos, obtiveram diâmetro no intervalo de 9,40 cm a 11,00 cm, sendo este diâmetro aproximadamente 50% menor quando comparado com o diâmetro obtido no presente trabalho (21,18 cm).

Em relação ao resultado médio apresentado por Mendes (2001) de 34,06 cm, nota-se que o resultado obtido por este autor foi ligeiramente superior, e como as árvores avaliadas em ambos os estudos são provenientes do mesmo sítio de crescimento, estas diferenças podem ser atribuídas exclusivamente à amostragem.

Para a idade de 12 anos, os diâmetros encontrados na literatura foram de 21,44 cm a partir de estudo conduzido por Torres, Melo e Colodette (2005) em plantios na Colômbia onde este resultado é bastante inferiores, considerando o diâmetro médio de 33,19 cm obtido neste trabalho, o qual configura elevado potencial produtivo na região de Ventania - PR.

Pelissari, Lanssanova e Drescher (2011) também avaliando povoamentos homogêneos de *Pinus tecunumanii* com 12 anos, porém localizado no estado de Rondônia, obtiveram diâmetros sem casca de 10,26 cm, 12,03 cm, 13,71 cm, 14,95 cm, 16,05 cm, 17,02 cm, 17,70 cm, 18,51 cm e 18,65 cm para as idades de 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12 anos, respectivamente. Em comparação com os resultados

obtidos no presente trabalho, é possível verificar que os diâmetros médios para as respectivas idades obtidos a partir do sítio e das condições de crescimento de Ventania – PR, são superiores aos diâmetros do plantio de Rondônia.

Comparando com a idade de 14 anos, pesquisas desenvolvidas por Sebbenn *et al.* (2005) em plantios no Noroeste de São Paulo indicam diâmetro médio entre 26,47 cm a 28,58 cm, sendo este resultado inferior ao valor do presente trabalho, assim como o resultado médio apresentado por Moura e Vale (2002) a partir de procedências centro-americanas e mexicanas com 15 anos, cujo diâmetro médio foi de 23,60 cm e 22,78 cm.

Pinus taeda

Em relação à espécie testemunha, verifica-se inicialmente que Klock (2000) e Mendes (2001), avaliando o *Pinus taeda* com idades de 10 e 11 anos e oriundas do mesmo sítio de crescimento, obtiveram diâmetros de 28,01 cm e 28,71 cm, respectivamente, cujos valores são similares ao obtido nesta pesquisa, com 26,64 cm e 27,61 cm, para ambas as idades discutidas.

Considerando outros sítios de crescimento, é possível observar que Couto e Vettorazo (1999) em seleção de equações de volume para *Pinus taeda* localizado em Telêmaco Borba, obtiveram para plantios de 6 e 11 anos, DAP de 14,1 cm e 19,4 cm, onde estes valores são inferiores aos diâmetros médios obtidos para as respectivas idades a partir dos plantios de Ventania – PR.

Xavier, Matos e Trianoski (2008) avaliando a variabilidade da massa específica a partir de plantios de diferentes idades localizados em Guarapuava, obtiveram diâmetro médio de 18,90 cm para o plantio de 8 anos, 19,1 cm para plantio de 9 anos, 25,70 cm para o plantio de 10 anos, 27,20 cm para plantio de 11 anos, 28,50 cm para plantio de 16 anos e 34,00 cm para plantio de 17 anos, em espaçamentos de 3x3, 4x3 e 5x5. Comparando-se com os valores apresentados na Tabela 4.2, para estas idades, verifica-se que exceto o diâmetro do plantio de 17 anos, todos os demais diâmetros foram ligeiramente superiores, mesmo as árvores utilizadas no presente trabalho sendo plantadas em espaçamento menor (2,5 m x 2,5 m).

Em relação à sítios localizados em Sengés – PR, nota-se que Oliveira *et al.* (2006) obtiveram a partir de plantios com 9, 13 e 20 anos, DAP médio de 19,80 cm, 27,20 cm e 33,10 cm, respectivamente, e Shimoyama (2005) também utilizando material proveniente desta região, no entanto com 28 anos de idade, obteve diâmetro médio de 35,40 cm. Comparando estes resultados com os obtidos nesta pesquisa, verifica-se os resultados apresentados por Oliveira *et al.* (2006) para as idade de 9 e 13 anos foram inferiores e os resultados para a idade de 20 anos também descritos por Oliveira *et al.* (2006), assim como os resultados mencionados por Shimoyama (2005) para a idade de 28 anos, podem ser considerados similares ao deste trabalho, mesmo com idade inferior.

A respeito dos valores descritos por Castelo (2007) a partir de experimento com 14 e 18 anos em diferentes espaçamentos na região de Piraí do Sul – PR, nota-se que tanto o diâmetro (24,67 cm) na idade de 14 anos, como o diâmetro para o plantio de 18 anos (30,08 cm) foram inferiores.

Em relação aos resultados obtidos por Chies (2005), em estudo da qualidade da madeira do *Pinus taeda* com 21 anos a partir de diferentes espaçamentos localizados na região de Três Barras – SC, verifica-se que diâmetro médio na altura do peito variou entre 26,48 cm a 31,12 cm, sendo estes valores inferiores ao diâmetro médio de 33,46 cm, obtido no presente trabalho para a idade de 17 anos.

4.4.1.2 – Crescimento em altura

Na Tabela 4.3 são apresentados os valores médios do crescimento em altura ao longo dos anos para as diferentes espécies de *Pinus* tropicais.

TABELA 4.3 – EVOLUÇÃO DA ALTURA TOTAL AO LONGO DOS 17 ANOS DE CRESCIMENTO

Espécie	<i>P.c.bahamensis</i>	<i>P.c.caribaea</i>	<i>P. c. hondurensis</i>	<i>P. chiapensis</i>	<i>P. maximinoi</i>	<i>P. oocarpa</i>	<i>P. tecunumanii</i>	<i>P. taeda</i>
Idade (anos)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
1	1,79	1,87	1,96	1,76	1,88	2,11	1,66	1,63
2	3,63	3,90	3,91	3,45	3,68	4,21	3,06	2,83
3	6,17	5,83	5,82	5,10	6,02	6,89	4,69	4,22
4	8,70	7,89	7,87	6,80	8,47	9,57	6,74	5,65
5	11,14	9,76	9,91	8,57	10,39	11,44	8,60	7,09
6	12,88	11,43	11,73	10,41	12,29	13,47	10,58	8,41
7	14,63	13,22	13,56	12,13	14,31	15,50	12,56	9,64
8	16,38	15,02	15,37	13,88	16,17	16,88	14,53	10,75
9	17,67	16,75	16,63	15,59	18,03	18,26	15,81	11,94
10	18,97	18,30	17,83	17,24	19,76	19,64	17,08	13,15
11	20,29	19,85	19,02	18,89	21,16	21,02	18,35	14,65
12	21,60	21,39	20,22	20,75	22,25	22,29	19,62	15,68
13	22,69	22,52	21,42	22,60	23,17	23,01	20,54	16,19
14	23,73	23,48	22,25	24,62	23,90	23,56	21,46	16,59
15	24,77	24,43	22,86	26,15	24,63	24,11	22,38	17,00
16	25,81	25,39	23,46	27,30	25,36	24,66	23,30	17,41
17	26,86	26,34	24,11	28,46	26,07	25,21	24,22	17,75

A evolução do crescimento desta variável pode ser melhor observado a partir do Gráfico 4.3.

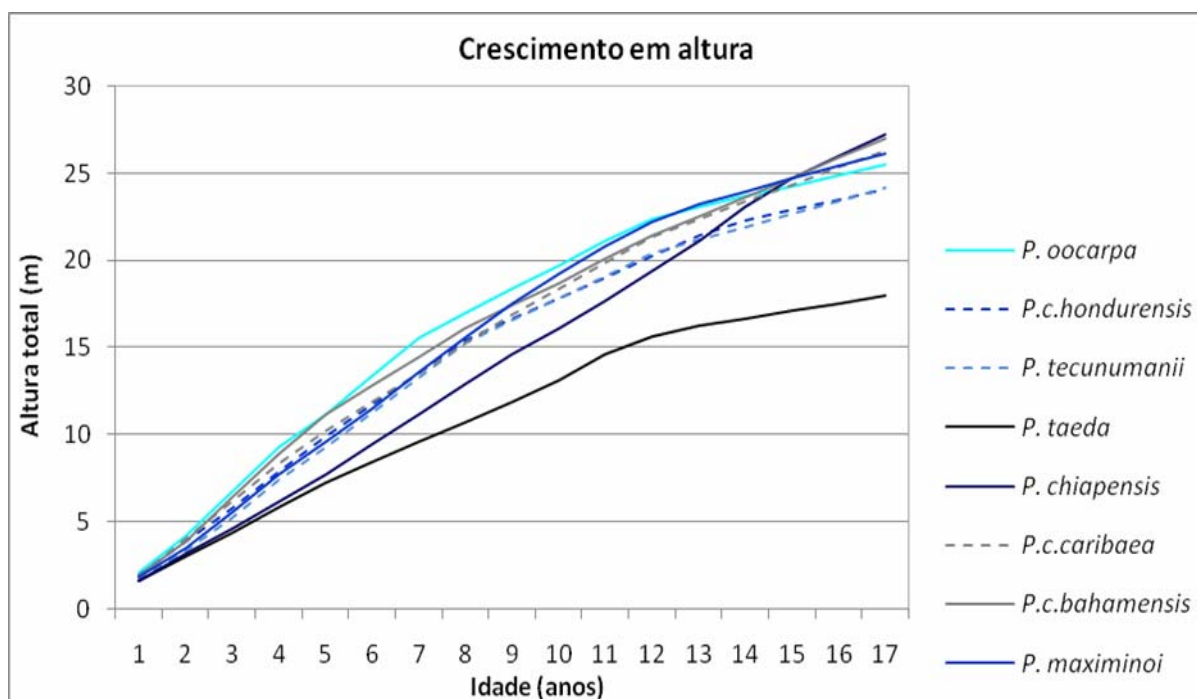
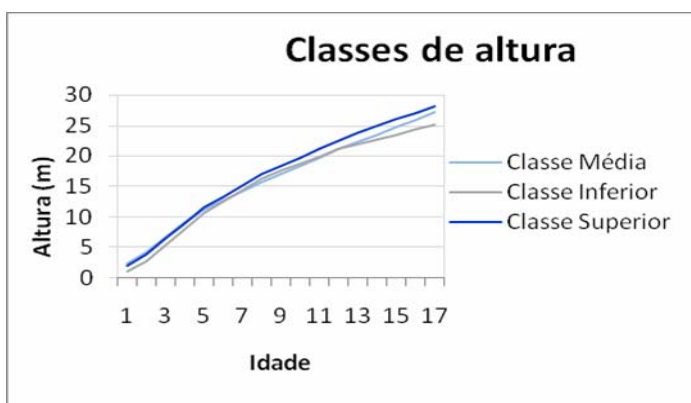


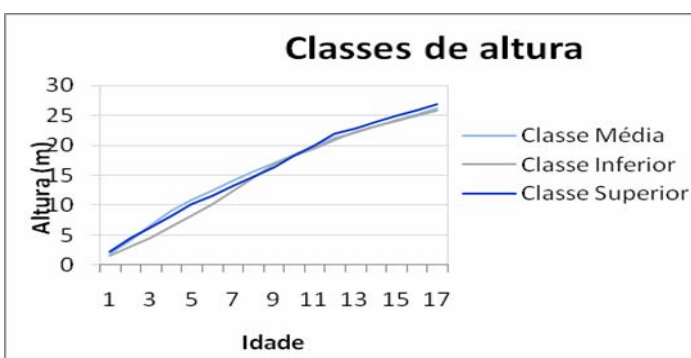
GRÁFICO 4.3 – CRESCIMENTO EM ALTURA DAS ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

A partir do gráfico acima, é possível observar que as espécies de Pinus tropicais apresentaram comportamento similar entre si tanto em termos de evolução do crescimento em altura, assim como, alturas similares. A testemunha (*Pinus taeda*), em virtude de ser uma espécie de clima temperado, diferenciou-se acentuadamente das demais.

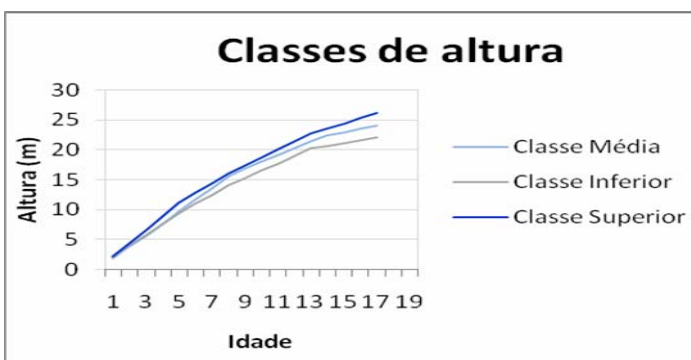
A seguir são apresentadas as classes sociológicas de altura das espécies estudadas.

Classes de altura do *Pinus caribaea* var. *bahamensis*

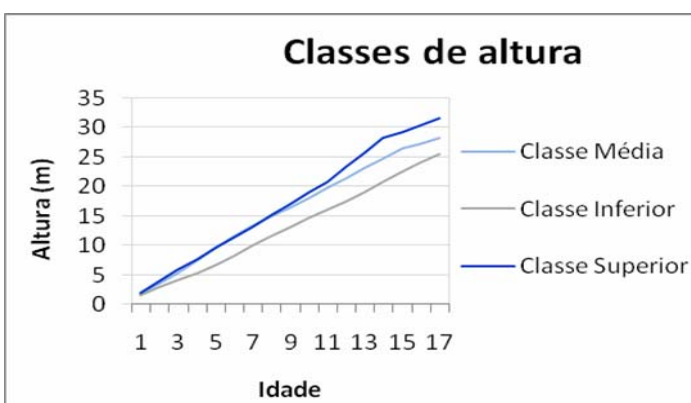
Classes de altura	
Classes	(m)
Inferior	25,20
Média	27,27
Superior	28,10

Classes de altura do *Pinus caribaea* var. *caribaea*

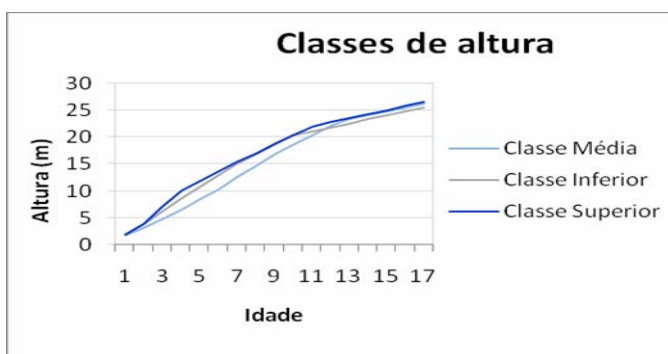
Classes de altura	
Classes	(m)
Inferior	25,90
Média	26,23
Superior	26,90

Classes de altura do *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

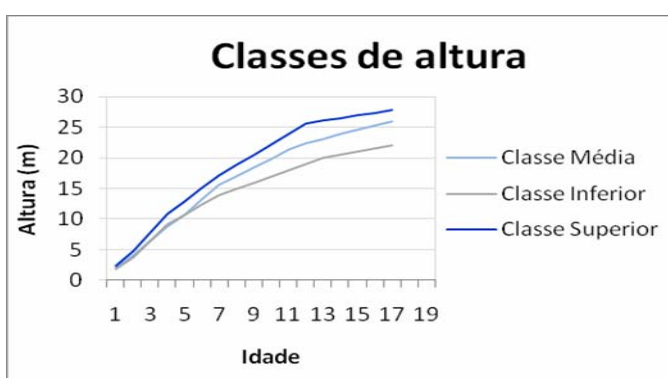
Classes de altura	
Classes	(m)
Inferior	22,07
Média	24,01
Superior	26,25

Classes de altura do *Pinus chiapensis*

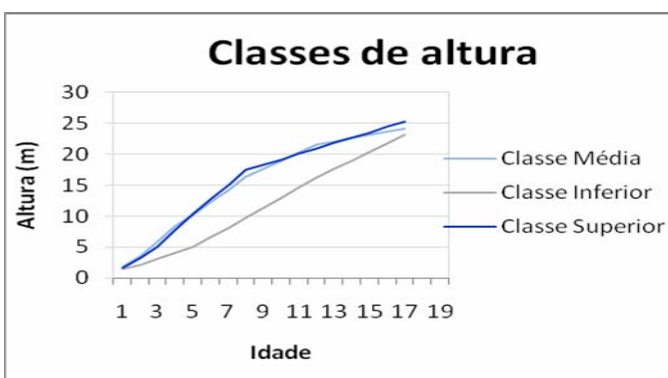
Classes de altura	
Classes	(m)
Inferior	25,46
Média	28,20
Superior	31,72

Classes de altura do *Pinus maximinoi*

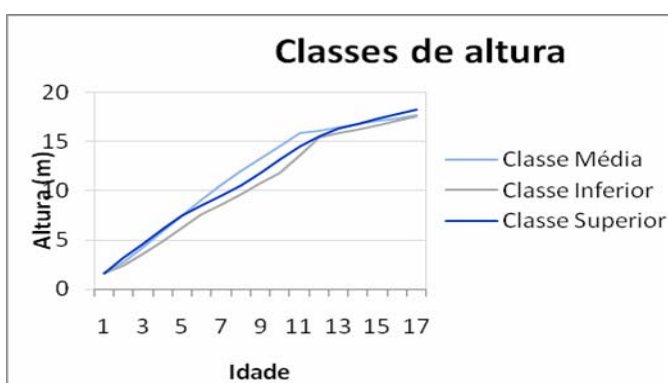
Classes de altura	
Classes	(m)
Inferior	25,53
Média	26,26
Superior	26,50

Classes de altura do *Pinus oocarpa*

Classes de altura	
Classes	(m)
Inferior	21,97
Média	25,93
Superior	27,72

Classes de altura do *Pinus tecunumanii*

Classes de altura	
Classes	(m)
Inferior	23,24
Média	24,15
Superior	25,27

Classes de altura do *Pinus taeda*

Classes de altura	
Classes	(m)
Inferior	17,56
Média	17,69
Superior	18,18

Pinus caribaea var. *bahamensis*

Comparando os resultados médios da variável altura obtidos neste trabalho com os valores médios apresentados pela literatura, verifica-se que para a espécie *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, Zheng, Ennos e Wang (1994) a partir de árvores localizadas na China com 2,5 anos obtiveram altura média foi de 3,36 m e Capitani *et al.* (1980) encontraram em árvores de 6,4 anos crescendo em Sacramento – MG, valor médio de 10,65 m, sendo estas alturas inferiores às do trabalho em questão.

Relacionando as alturas obtidas por Moura, Parca e Silva (1991) a partir de diferentes procedências de *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, crescendo na região dos cerrados e com idade de 12 anos, verifica-se que a altura média obtida por tais autores foi de 13,60 m, sendo este valor bastante inferior à altura média obtida para a mesma idade nesta pesquisa. Como mencionado por tais autores, esta diferença pode ser justificada pela má adaptação da espécie na região. Já Missio *et al.* (2004) obtiveram para progênies de 13 anos localizadas no Mato Grosso, altura média de 18,85 m, resultado também inferior, no entanto menos discrepante. Assim como Missio *et al.* (2004), Sebbenn *et al.* (2010) também avaliaram plantios de 13 anos, no entanto, localizados em Assis – SP, onde se obteve altura média de 20,12 m, podendo-se dizer neste caso, que a altura é compatível ao valor médio apresentado na Tabela 4.3 para a idade comparada.

Em relação à altura média de 20,11 m mencionada por Florsheim (2010) a partir de árvores de 16 anos provenientes da região de Manduri – SP, verifica-se que este valor é inferior à altura de 25,81 m encontrada para as árvores utilizadas neste estudo quando possuíam a mesma idade.

Por outro lado, comparando com as alturas encontradas por Sebbenn, Villas Bôas e Max (2008) de 21,02 m para árvores de 20 anos da região de Assis- SP e por Freitas *et al.* (2005) com altura de 22,15 m para indivíduos de 22 anos oriundos de experimento em Bebedouro – SP, nota-se que mesmo a idade limite deste estudo de 17 anos, apresentou altura superior a altura das idades de 20 e 22 anos dos respectivos estudos.

Pinus caribaea var. *caribaea*

Para a espécie *Pinus caribaea* var. *caribaea*, Quintana, Brito e Nolazco (2007), descrevem após avaliação de ensaio de procedências em Cuba com 5 anos de idade, altura média de 2,45 m, onde este valor é bastante inferior à altura determinada neste trabalho para a mesma idade. Em relação a altura média de 4,10 m indicada por Francis (1989) para as árvores de 4,8 anos, também localizadas em Cuba, nota-se novamente altura média inferior ao do presente trabalho. Para ambos os casos é possível então, concluir que o sítio localizado no Brasil apresenta melhores condições de crescimento.

Considerando os resultados apresentados por Silva (2005) a partir de experimento instalado em Selvíria – MS com 14,3 anos e 16,30 anos, verifica-se que para a primeira idade a altura média variou entre 18,35m a 19,95 m e para a idade de 16,30 a altura média foi de 20,77 m. Comparando as respectivas alturas com os valores disponíveis na Tabela 4.3, nota-se que para as duas idades a altura média obtida a partir do experimento de Selvíria- MS foi inferior.

Pinus caribaea var. *hondurensis*

Em relação à espécie *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, Sampaio (1996) obteve para progênies de 5 anos instaladas em Tibagi- PR, altura média no intervalo de 6,20 m a 8,70 m, onde este intervalo de variação é inferior à altura na idade de 5 anos obtida nesta pesquisa.

Para a idade de 11 anos, Mendes (2001) encontrou altura média de 18,88 m, sendo este valor similar ao descrito na Tabela 4.3 para a mesma idade (19,02 m), onde o material utilizado em ambos os estudos é proveniente do mesmo sítio de crescimento.

Em relação às idades de 12, 13 e 14 anos, pesquisas indicam altura no intervalo de variação de 16,00 m a 17,40 m a partir de plantios de 12 anos localizados em diferentes regiões do cerrado (MOURA; PARÇA; SILVA, 1991), 19,32 m a partir de plantio também de 12 anos, no entanto, localizados em Agudos – SP,

21,91 m e 23,20 m para plantio de 13 e 14 anos, também de Agudos – SP, sob o efeito de desbaste seletivo (MORAES *et al.*, 2007). Comparando com os valores apresentados na Tabela 4.3, ambos os estudos com idade de 12 anos mostraram resultados inferiores, no entanto, quando o experimento conduzido por Moraes *et al.* (2007) passou pelo desbaste, as árvores apresentaram elevado crescimento apical, apresentando com isso maiores alturas médias em ambos os anos subseqüentes. Já em relação a altura média obtida por Sebbenn *et al.* (2010) em experimento de 13 anos em Assis – SP, nota-se que tais autores obtiveram valores médios de 18,71 m e 20,97 m para testemunha e árvores selecionadas geneticamente, respectivamente, onde os resultados para os diferentes tratamentos foram ligeiramente inferiores aos descritos neste trabalho para a idade relacionada.

Pelissari, Lansanova e Drescher (2011) estudando experimento de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* de 12 anos localizado em Rondônia, obtiveram alturas médias de 6,81 m, 8,76 m, 10,97 m, 13,02 m, 14,39 m, 16,02 m 17,13 m, 17, 83 m e 18,33 m ao longo das idades de 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12 anos, sendo estas alturas compatíveis com as alturas descritas na Tabela 4.3.

Em comparação com os resultados mencionados por Barrichelo (1979) a partir de indivíduos de 16 anos, provenientes de Agudos – SP, o qual obteve altura de 19,07 m e aos descritos por Montagna *et al.* (1983) com valor de 20,00 m a partir de plantio em Mogi-Mirim – SP com 17 anos de idade, nota-se que em relação a ambos os estudos, a altura média encontrada neste trabalho foi superior com 23,46 m e 24,11 m, respectivamente.

Pinus chiapensis

Para a espécie *Pinus chiapensis*, Vargas e Sanchez (2001) relatam altura variando entre 12,20 m a 34,80 m, para populações naturais com idade entre 13 e 100 anos. Por se tratar de povoamentos com ampla variabilidade de idade, assim como de ocorrência natural, não é possível estabelecer uma comparação mais acurada. Já em relação ao resultado apresentado por Mendes (2001), nota-se que a altura média de 22,36 m obtida para a idade de 11 anos apresenta-se superior à altura média determinada pela técnica de anatro. Como ambos os estudos utilizaram

material proveniente do mesmo sítio, as diferenças existentes provavelmente estão relacionadas à amostragem das árvores, como já discutido anteriormente.

Pinus maximinoi

Em relação ao crescimento em altura do *Pinus maximinoi*, Sampaio (1996) estudando a variabilidade genética de testes de procedências e progênies com cinco anos de idade, localizados em Ventania – PR, obteve altura média entre 9,7 m a 10,90 m, Klock (2000) utilizando indivíduos do mesmo plantio para avaliar a qualidade da madeira juvenil, no entanto com 10 anos, obteve altura média de 22,55 m e Mendes (2001) coletando material para seu experimento de painéis particulados, também no mesmo plantio, encontrou para a idade de 11 anos, altura média de 22,16 m. Comparando estes resultados com o valores encontrados nesta pesquisa, verifica-se que para a idade de 5 anos a altura média foi de 10,39 m, para a idade de 10 anos a altura foi de 19,76 m e para 11 anos o valor médio foi de 21,16 m, sendo estes valores similares entre si, cujas diferenças estão associadas a amostragem e intensidade amostral.

Kietzka (1988) avaliando a espécie na África do Sul a partir de 3 procedências, obteve para árvores de 4,8 anos de idade, altura média entre 5,4 a 5,7 m. Comparando este resultado com o valor médio encontrado para a idade de 5 anos nesta pesquisa, verifica-se que o sítio de crescimento de Ventania – PR foi superior. Considerando os resultados descritos por Gapare, Hodge e Dvorak (2001) para plantios no Brasil, na Colômbia e na África do Sul, também para 5 anos, com alturas médias de 9,30 m, 10,50 m e 9,00 m, respectivamente, nota-se que os 3 sítios de crescimento apresentaram altura similar ao valor médio de 10,39 m encontrado neste trabalho, sendo o sítio localizado na Colômbia o de maior crescimento entre os 4 comparados. Ainda segundo estes autores, para a idade de 8 anos, o crescimento em altura foi de 12,30 m para os sítios no Brasil (Jaguariaíva - PR e Grão Mogol – MG), 14,90 m para o sítio localizado na Colômbia e 12,60 m na África do Sul, os quais foram inferiores a altura média encontrada no sítio de Ventania – PR, com altura média de 16,17 m para a idade em questão.

Em relação aos resultados apresentados por Fier (2001) para indivíduos de 8 anos localizados em Telêmaco Borba – PR, nota-se que a altura média obtida por

esta autora foi de 16,75 m, sendo este resultado similar ao encontrado neste trabalho para a mesma idade. Em referência aos resultados de Malan (2006), o qual avaliou as propriedades e qualidade da madeira a partir de árvores de 15 anos na África do Sul, a altura média variou entre 24,40 m a 28,20 m, onde para a mesma idade o presente trabalho obteve altura de 24,72 m, encontrando-se dentro do intervalo de variação do autor citado.

Pinus oocarpa

Para o *Pinus oocarpa*, Kageyama *et al.* (1977) apresentam altura média de 7,30 m para árvores de 4 anos provenientes de plantio localizado na região de Agudos – SP e Capitani *et al.* (1980) descrevem altura de 11,16 m para árvores oriundas de um plantio de 7,6 anos localizado em Sacramento – MG. Comparando estes dois resultados com os valores médios encontrados neste trabalho, é possível verificar que para a idade de 4 anos a altura média foi de 9,57 m e para a idade de 7 anos a altura foi de 15,50 m, sendo ambos os valores, superiores aos encontrados por Kageyama *et al.* (1977) e Capitani *et al.* (1980).

Considerando os resultados apresentados por Sampaio (1996) de 16,70 m a 17,70 m para progênies e procedências de 9 anos em Angatuba – SP, por Mendes (2001) de 21,61m para árvores de 11 anos procedentes de Ventania – PR, por Mendes *et al.* (2001) de 17,38 m para árvores de 14 anos de idade da região de Minas Gerais, e comparando-se com as alturas médias obtidas para as mesmas idades no presente trabalho, verifica-se que para a idade de 9 anos a altura média foi de 18,26 m, para a idade de 11 anos a altura foi de 21,02 m e para a idade de 14 anos a altura encontrada foi de 23,56 m, sendo estes valores similares aos estudos de Sampaio (1996) e Mendes (2001) e superior à altura média obtida por Mendes *et al.* (2001).

Barros *et al.* (2002) avaliando o comportamento hipsométrico de plantio de *Pinus oocarpa* com idades entre 5 e 25 anos, encontraram para a idade de 15 anos, altura no intervalo de variação de 19,30 m a 28,00 m, onde o valor médio de 24,11 m obtido nesta pesquisa, encontra-se dentro do intervalo de variação mencionado pelos referidos autores.

Pinus tecunumanii

Em relação ao *Pinus tecunumanii*, Vieira e Shimizu (1998) avaliando o potencial produtivo da espécie em Rondônia obtiveram a partir de testes de procedências e progênies com 6 anos, altura entre 7,15 m e 8,08 m. Comparando este resultado com a altura na mesma idade obtida neste estudo, é possível verificar um maior crescimento em altura no sítio de Ventania, cuja altura média encontrada foi de 11,60 m.

Em referência ao valor médio encontrado por Mendes (2001) de 21,25 m para a idade de 11 anos, nota-se que este valor é superior à altura média de 18,35 m, determinada nesta pesquisa.

Para a idade de 12 anos, a literatura indica altura média de 21,44 m a partir de povoamento instalado na Colômbia (TORRES; MELO; COLODETTE, 2005), onde este resultado é compatível ao resultado determinado para esta idade no presente trabalho. Resultados similares ao deste trabalho foram também apresentados por Pelissari, Lansanova e Drescher (2011), que estudando povoamento homogêneo de *Pinus tecunumanii* em Rondônia, obtiveram altura média de 8,30 m, 10,70 m, 13,10 m, 14,70 m, 16,10 m, 17,50 m, 18,35 m, 18,97 m e 19,77 m para as idades de 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12 anos.

Sebbenn *et al.* (2005) estudando plantio com 14 anos de idade localizados no Noroeste de São Paulo, obtiveram para diversas procedências altura média variando entre 18,60 m a 20,26 m e Moura e Vale (2002) também avaliando procedências, no entanto, instaladas no cerrado, obtiveram altura média de 17,12 m e 17,80 m. Comparando estes valores com os descritos na Tabela 4.3, para as respectivas idades, é possível verificar que para 14 anos a altura média foi de 21,46 m e para a idade de 15 anos, 22,38 m, sendo estas alturas superiores às encontradas tanto por Sebbenn *et al.* (2005), quanto por Moura e Vale (2002).

Pinus taeda

Para o *Pinus taeda*, nota-se que Klock (2000) e Mendes (2001), encontraram a partir da avaliação da espécie com idades de 10 e 11 anos, respectivamente, oriundas do mesmo sítio de crescimento, alturas de 14,96 m e 15,28 m, onde estes

valores, embora ligeiramente superiores, foram similares aos valores médios de 13,15 m e 14,65 m determinados nesta pesquisa.

Comparando as alturas desta espécie nas diferentes idades, com alturas encontradas em outras pesquisas e outros sítios de crescimento, verifica-se que Xavier, Matos e Trianoski (2008) obtiveram para plantios localizados em Guarapuava - PR, altura média de 12,69 m para plantio de 8 anos, 13,64 m para plantio de 9 anos, 15,03 m para o plantio de 10 anos, 16,77 m para o plantio de 11 anos, 21,26 m para o plantio de 16 anos e 21,67 m para o plantio de 17 anos de idade, onde para todas as idades, a altura média encontrada na presente pesquisa foi inferior, demonstrando maior potencial de crescimento apical na região de Guarapuava.

Couto e Vettorazo (1999) em estudo de equações de volume para *Pinus taeda* com idade de 6 e 11 anos, obtiveram altura total de 10,6 m e 16,0 m, onde os resultados apresentados na Tabela 4.3 para as respectivas idades são ligeiramente inferiores.

Considerando os estudos conduzidos por Oliveira *et al.* (2006) a partir de plantios localizados em Sengés - PR, com idades de 9, 13 e 20 anos, observa-se que as alturas apresentadas por estes autores foram de 12,60 m, 20,40 m e 22,30 m, respectivamente, as quais são superiores às apresentadas na Tabela 4.3, para as mesmas idades discutidas. Em relação a altura média de 16,94 m e 22,79 m encontrada por Castelo (2007) para plantio de 14 anos e 16 anos respectivamente, localizado na região de Piraí do Sul – PR, nota-se que para a idade de 14 anos os resultados desta autora foram similares a este estudo (16,59 m), já para a idade de 16 anos, a altura média foi bastante superior ao valor médio de 17,75 m aqui encontrado.

4.4.1.3 Crescimento em volume

Na Tabela 4.4 são apresentados os valores médios do volume com casca, ano a ano, para as espécies de *Pinus* estudadas. Para melhor visualizar o comportamento do crescimento em volume ao longo dos anos é apresentado o Gráfico 4.5.

TABELA 4.4 – EVOLUÇÃO DO VOLUME MÉDIO INDIVIDUAL COM CASCA AO LONGO DOS 17 ANOS DE CRESCIMENTO

Espécie	<i>P.c.bahamensis</i>	<i>P.c.caribaea</i>	<i>P. c. hondurensis</i>	<i>P. chiapensis</i>	<i>P. maximinoi</i>	<i>P. oocarpa</i>	<i>P. tecunumanii</i>	<i>P. taeda</i>
Idade (anos)	(m³)	(m³)	(m³)	(m³)	(m³)	(m³)	(m³)	(m³)
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,001	0,002	0,003	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002
3	0,010	0,012	0,013	0,011	0,017	0,012	0,014	0,009
4	0,031	0,032	0,033	0,035	0,056	0,036	0,046	0,024
5	0,077	0,063	0,062	0,067	0,118	0,080	0,103	0,055
6	0,130	0,109	0,102	0,121	0,198	0,148	0,190	0,097
7	0,193	0,176	0,148	0,196	0,294	0,217	0,260	0,141
8	0,262	0,259	0,208	0,303	0,391	0,305	0,339	0,186
9	0,324	0,349	0,282	0,418	0,484	0,389	0,426	0,251
10	0,384	0,434	0,375	0,563	0,610	0,502	0,546	0,311
11	0,461	0,531	0,463	0,707	0,722	0,583	0,655	0,353
12	0,534	0,619	0,544	0,860	0,823	0,678	0,776	0,402
13	0,631	0,739	0,643	1,000	0,917	0,795	0,909	0,461
14	0,735	0,851	0,750	1,150	1,010	0,891	1,042	0,520
15	0,827	0,958	0,886	1,310	1,140	1,016	1,209	0,579
16	0,918	1,066	1,002	1,465	1,270	1,132	1,347	0,624
17	1,017	1,167	1,099	1,608	1,350	1,218	1,445	0,670

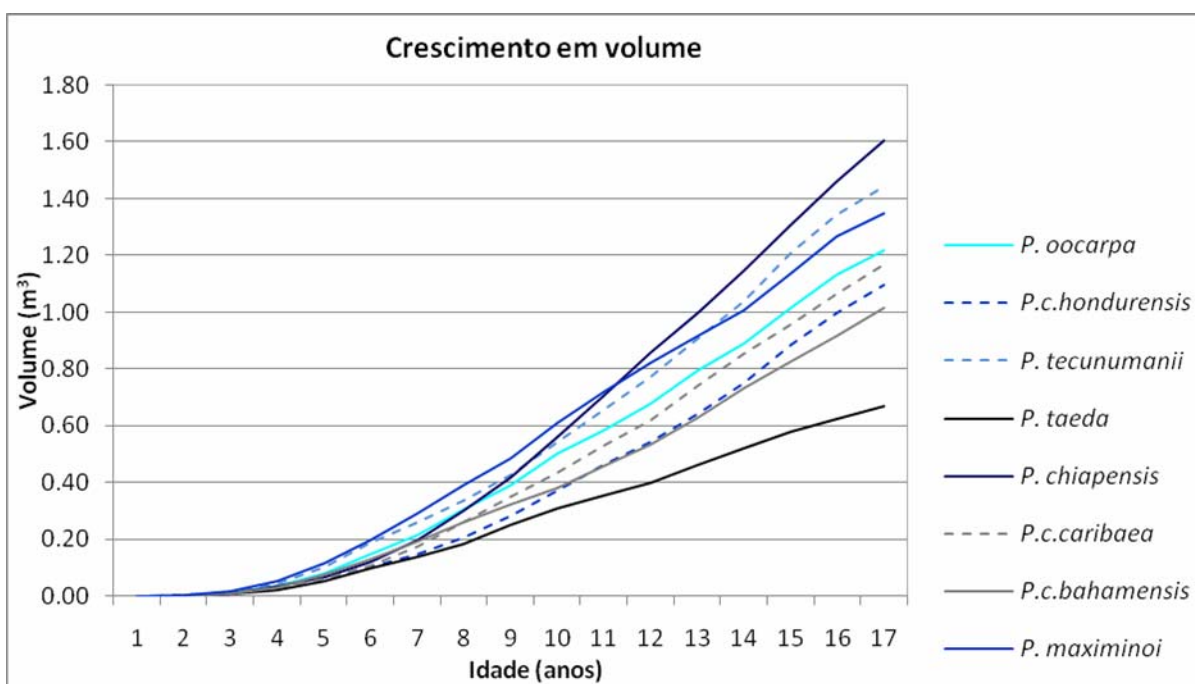


GRÁFICO 4.5 – CRESCIMENTO EM VOLUME DAS ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

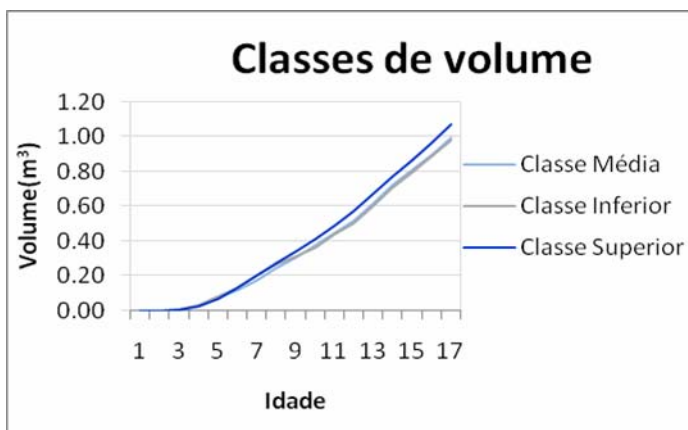
De acordo com a tabela e o gráfico citados, pode-se notar que a espécie que apresentou a maior produção volumétrica foi o *Pinus chiapensis*, com volume médio de 1,608 m³ por árvore ao final de 17 anos de crescimento. Por outro lado, a espécie de Pinus tropicais com menor produção volumétrica foi o *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, com valor médio de 1,017 m³. A espécie testemunha (*Pinus taeda*), apresentou entre todas as espécies estudadas o menor volume (0,670 m³), resultado dos menor crescimento em altura e volume, explicados provavelmente pelas condições climáticas da região de instalação do experimento.

Analisando o comportamento do crescimento em volume ao longo dos anos, é possível verificar que caso as florestas fossem destinadas a produção de madeira para celulose, painéis particulados ou outras utilizações que não requeiram resistência mecânica nem diâmetros elevados, cujo corte ou desbaste ocorre aos 7 ou 10 anos, a maior produção volumétrica aos 7 anos seria obtida a partir das espécies *Pinus maximinoi*, *Pinus oocarpa* e *Pinus tecunumanii*, com volume médio por árvore de 0,294 m³, 0,217 m³ e 0,260 m³, respectivamente. Já em relação a idade de 10 anos, apenas o *Pinus maximinoi* supera o *Pinus chiapensis* em volume,

com valor médio de $0,610 \text{ m}^3$. A partir dos 12 anos o maior volume é então obtido a partir do *Pinus chiapensis*.

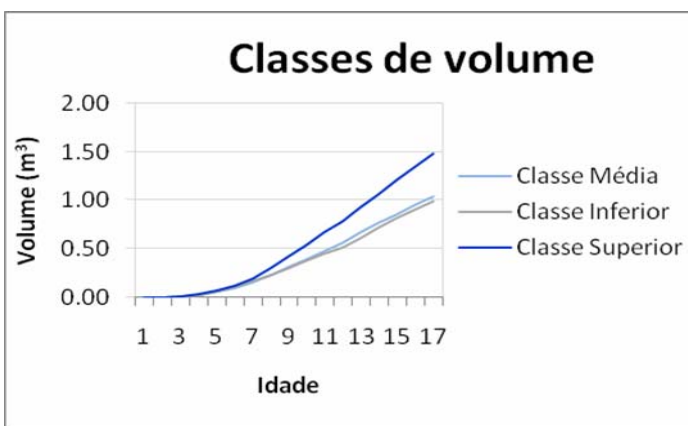
A seguir é apresentada as classes sociológicas de volume das espécies estudadas.

Classes de volume do *Pinus caribaea* var. *bahamensis*



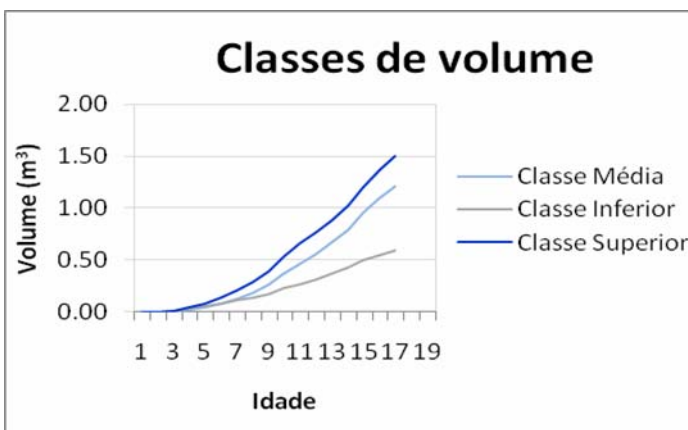
Classes de volume	
Classes	(m^3)
Inferior	0,981
Média	0,997
Superior	1,072

Classes de volume do *Pinus caribaea* var. *caribaea*

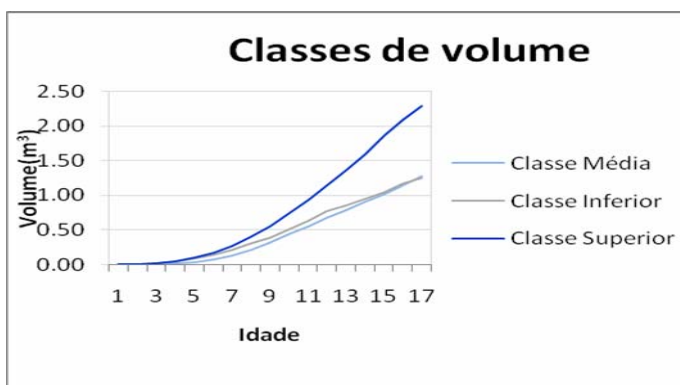


Classes de volume	
Classes	(m^3)
Inferior	0,987
Média	1,034
Superior	1,481

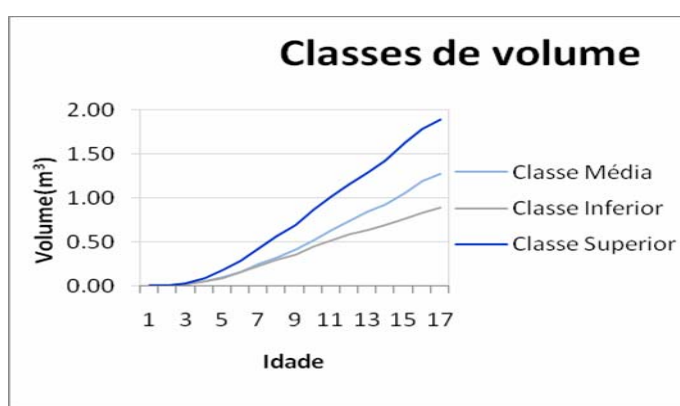
Classes de volume do *Pinus caribaea* var. *hondurensis*



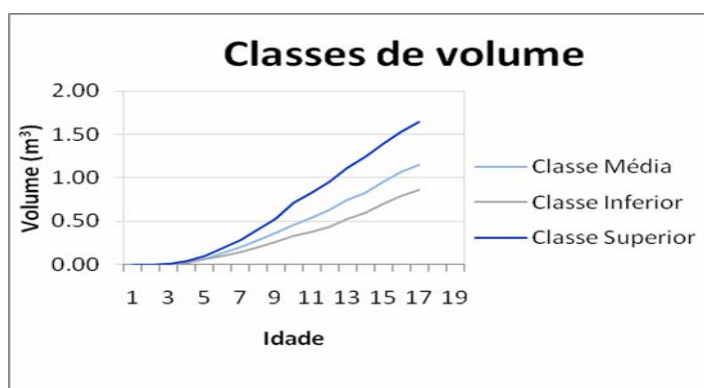
Classes de volume	
Classes	(m^3)
Inferior	0,591
Média	1,206
Superior	1,501

Classes de volume do *Pinus chiapensis*

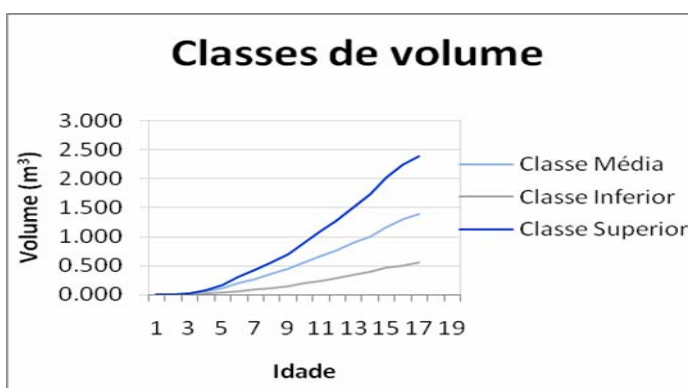
Classes de volume	
Classes	(m³)
Inferior	1,253
Média	1,280
Superior	2,292

Classes de volume do *Pinus maximinoi*

Classes de volume	
Classes	(m³)
Inferior	0,887
Média	1,274
Superior	1,890

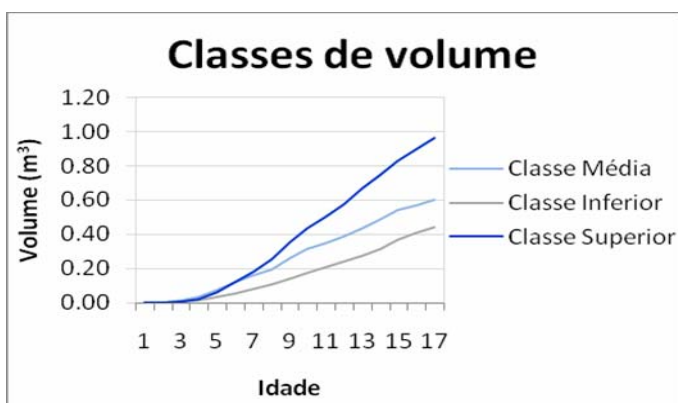
Classes de volume do *Pinus oocarpa*

Classes de volume	
Classes	(m³)
Inferior	0,858
Média	1,146
Superior	1,651

Classes de volume do *Pinus tecunumanii*

Classes de volume	
Classes	(m³)
Inferior	0,561
Média	1,387
Superior	2,386

Classes de volume do *Pinus taeda*



Classes de volume	
Classes	(m ³)
Inferior	0,445
Média	0,602
Superior	0,963

Pinus caribaea var. *bahamensis*

Comparando os volumes médios obtidos neste trabalho com os resultados encontrados na literatura para cada espécie, verifica-se que Missio *et al.* (2004), obtiveram a partir de estudos de seleção genética de progênies de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* com 13 anos plantadas no Mato Grosso do Sul, volume médio por árvore de 0,547 m³, sendo este valor inferior ao valor de 0,631 m³ encontrado para a mesma idade a partir do plantio de Itararé – SP.

Sebbenn, Villas Bôas e Max (2008) também em estudo de seleção genética desta espécie, encontraram a partir de árvores de 20 anos localizadas em Assis – SP, volume médio de 0,664 m³. Comparando este valor com os resultados apresentados na Tabela 4.4, é possível observar que mesmo com 17 anos, as árvores utilizadas neste trabalho apresentaram um volume médio por árvore superior ao volume obtido para as árvores de 20 anos. Em função deste resultado, pode-se dizer que as condições de crescimento do sítio de Itararé – SP apresentaram maior potencialidade de produção volumétrica.

Pinus caribaea var. *caribaea*

Para a espécie *Pinus caribaea* var. *caribaea*, Silva (2005) estudando parâmetros genéticos em progênies localizadas em Selvíria -MS, obteve para

indivíduos de 14,30 anos, volume médio por árvore entre 0,448 m³ a 0,697 m³. Já para indivíduos com 16,3 anos, o volume por árvore foi de 0,803 m³. Comparando estes resultados com os valores apresentados na Tabela 4.4 para a espécie, nota-se que para a idade de 14 anos, o volume médio por árvore foi de 0,735 m³, e para a idade de 16 anos, obteve-se 0,918 m³, sendo estes valores compatíveis aos apresentados por Silva (2005).

Em relação ao *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, Sampaio avaliando a variação genética em progênies de 5 anos instaladas em Tibagi – PR, obteve volume médio por árvore no intervalo de variação de 0,022 m³ a 0,097 m³. Verifica-se que o volume médio obtido neste trabalho para a referida idade (0,062 m³), apresenta-se dentro da faixa de variação mencionada pelo autor, mais precisamente no limite central dos resultados.

Mendes (2001) utilizando os plantios localizados em Ventania – PR para estudo da viabilidade de produção de painéis de partículas orientadas de *Pinus* tropicais, obteve para o *Pinus caribaea* var. *hondurensis* com idade de 11 anos, volume médio por árvore de 0,530 m³. Em relação ao resultado de 0,463 m³ apresentado neste trabalho para a mesma idade, verifica-se uma pequena diferença, a qual pode ser justificada por questões relacionadas a forma de amostragem, já que o sítio de crescimento é o mesmo.

Para a idade de 12 anos, resultados foram encontrados a partir dos estudos conduzidos por Moura e Dvorak (2001), os quais em avaliação de ensaio de procedências em Planaltina – DF, obtiveram volume médio por árvore de 0,210 m³ a 0,300 m³, e por Moraes *et al.* (2007), que analisando o efeito do desbaste seletivo em plantios em Agudos - SP, encontraram volume médio por árvore de 0,520 m³. Comparando estes resultados com os valores indicados na Tabela 4.4, nota-se que o intervalo de variação de volume apresentado por Moura e Dvorak (2001), foi bastante inferior, onde a provável justificativa para esta diferença pode estar associada a má adaptação da espécie no cerrado. Já em relação ao valor médio descrito por Moraes *et al.* (2007), nota-se que o valor foi similar. Considerando ainda, os resultados apresentados por Moraes *et al.* (2007), no entanto para a idade de 14 anos, verifica-se que os autores obtiveram volume médio de 0,750 m³, sendo este valor igual ao determinado na presente pesquisa.

Ainda em referência a idade de 12 anos, Pelissari, Lanssanova e Drescher (2011) ajustando equações volumétricas para o *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, a partir de povoamento localizado em Rondônia, encontraram volumes médios sem casca de 0,024 m³, 0,046 m³, 0,074 m³, 0,104 m³, 0,132 m³, 0,161 m³, 0,188 m³, 0,217 m³ e 0,236 m³ para idades de 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12 anos, respectivamente. É possível observar a partir dos resultados mencionados por estes autores, que os volumes médios obtidos no presente trabalho são consideravelmente maiores, chegando a dobrar a partir dos 10 anos. Por outro lado, deve para esta comparação, ser considerado que no trabalho de Pelissari, Lanssanova e Drescher (2011), os volumes apresentados dizem respeito ao volume sem casca.

Pinheiro (2005) avaliando o volume de madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* proveniente de Itirapina – SP, com idade de 12 a 18 anos, encontraram volume com casca entre 0,683 m³ a 0,703 m³, cujos valores são inferiores ao valor de 1,099 m³ deste trabalho.

Pinus chiapensis

Em relação ao *Pinus chiapensis*, Mendes (2001) obteve para a idade de 11 anos, volume médio de 0,510 m³, cujo valor é um pouco inferior ao volume de 0,707 m³ determinado neste trabalho.

Pinus maximinoi

Para o *Pinus maximinoi*, resultados médios de volume são apresentados por Kietzka (1988) que em estudo da qualidade da madeira na África do Sul a partir de 3 procedências, obteve para árvores de 4,8 anos, volume médio por árvore entre 0,0071 m³ a 0,0099 m³, sendo estes valores, bastante inferiores ao volume médio de 0,106 m³ (interpolado) obtido no presente trabalho para a mesma idade. Já em relação ao intervalo de variação do volume apresentado por Sampaio (1996) a partir

do mesmo plantio (Ventania - PR), com valores de 0,080 m³ a 0,105 m³, nota-se que o volume médio de 0,118 m³ obtido neste experimento é similar.

Gapare, Hodge e Dvorak (2001) avaliando o comportamento desta espécie no Brasil (Jaguariaíva – PR e Grão Mogol – MG), na África do Sul e na Colômbia aos 5 anos, obtiveram volumes médios de 0,070 m³, 0,050 m³ e 0,090 m³. Comparando com o valor médio encontrado neste trabalho (0,118 m³), nota-se que todos os sítios de crescimento apresentaram volume médio inferior. Ainda segundo os resultados obtidos por estes autores para a idade de 8 anos, verifica-se que os volumes encontrados de 0,100 m³, 0,120 m³ e 0,210 m³ para os mesmos sítios citados, são também bastante inferiores ao volume de 0,391 m³. Para a idade de 8 anos também, Fier (2001) obteve volume de 0,233 m³ para progênies e procedências instaladas na região de Telêmaco Borba – PR, sendo este volume inferior ao de 0,391 m³, já mencionado.

Considerando o volume médio individual de 0,153 m³ obtido por Wright e Malan (1991) e Wright e Wessels (1992) a partir de árvores de 10,50 anos na África do Sul, verifica-se que este volume é bastante inferior ao volume médio de 0,610 m³ determinado no presente trabalho quando as árvores possuíam 10 anos, indicando como já verificado nos resultados de Kietzka (1988) e Gapare, Hodge e Dvorak (2001) que a produtividade volumétrica no Brasil para esta espécie, é superior a produtividade na África do Sul.

Klock (2000) e Mendes (2001) utilizando o mesmo plantio desta pesquisa, encontraram para árvores de 10 e 11 anos, volumes médios de 0,440 m³ e 0,470 m³. Em comparação com os resultados médios apresentados na Tabela 4.4, verifica-se que os valores de 0,610 m³ para a idade de 10 anos e 0,722 m³ para a idade de 11 anos são superiores, estando esta diferença relacionada provavelmente a amostragem.

Whight e Baylis (1993) avaliando a madeira de *Pinus maximinoi* a partir de 2 plantios e 6 procedências na África do Sul, obtiveram para o plantio de 11,6 anos (Twelfontein) em espaçamento 5 m x 5 m, volume médio por árvore de 0,360 m³, e para o plantio de 11,8 anos (Rhenostrhoek) em espaçamento 6 m x 6 m, volume médio de 0,190 m³. Comparando estes resultados com o volume individual para a idade de 12 anos apresentada na Tabela 4.4, nota-se que ambos os sítios de

crescimento localizados na África do Sul, apresentam volumes bastante inferiores ao volume de 0,823 m³ encontrados neste trabalho.

Pinus oocarpa

Para a espécie *Pinus oocarpa*, a literatura indica volume médio por árvore entre 0,282 m³ e 0,310 m³, a partir de plantio de 9 anos localizado em Angatuba – SP (SAMPAIO, 1996). Comparando este resultado com o valor descrito na Tabela 4.5 para a mesma idade (0,389 m³), verifica-se que o volume apresentado a partir do estudo realizado por Sampaio (1996) é inferior. Já em relação ao resultado apresentado por Mendes (2001) para a idade de 11 anos, cujo valor médio encontrado pelo autor foi de 0,490 m³, nota-se que este resultado pode ser considerado compatível com o volume médio de 0,583 m³ obtido pela técnica de anatro na presente pesquisa.

Considerando os resultados apresentados por Barros *et al.* (2002) a partir de plantio de *Pinus oocarpa* com idade de 15 anos e localizado em Agudos - SP, verifica-se que o volume médio determinado por tais autores variou no intervalo de 0,424 m³ a 0,537 m³, a partir de diferentes métodos de determinação, onde estes valores são inferiores ao valor médio de 1,016 m³ encontrado neste trabalho.

Machado, Urbano e Conceição (2005) avaliando métodos de estimativa de volume para *Pinus oocarpa* em diferentes idades e regimes de desbaste a partir de plantios em Agudos – SP, obtiveram para idades entre 5 e 25 anos, volumes médios de: 0,064 m³ para idade de 5 anos, 0,103 m³ para 6 anos, 0,129 m³ para 7 anos, 0,132 m³ para 8 anos, 0,217 m³ para 10 anos, 0,157 m³ para 11 anos, 0,180 m³ para 12 anos, 0,527 m³ para 15 anos, 0,933 m³ para 19 anos, 1,170 m³ para 22 anos e 1,358 para 25 anos. Comparando os resultados obtidos por tais autores com os descritos na tabela acima, nota-se que para todas as idade comparáveis os volumes médios do presente trabalho são superiores. Observa-se também, que as idades de 19, 22 e 25 anos, apresentaram volumes médios similares ao volume encontrado para a idade de 17 anos deste trabalho, indicando boa produtividade volumétrica no sítio de Ventania.

Pinus tecunumanii

Para a espécie *Pinus tecunumanii*, a literatura descreve resultados obtidos por Moura, Vale e Isaias (2004) que avaliando a variabilidade genética em plantios localizados na região de Planaltina – DF, obtiveram volume médio por árvore de 0,190 m³ e 0,360 m³, para árvores de 12 e 17 anos respectivamente. Comparando estes resultados com os apresentados na Tabela 4.4 para as mesmas idades, verifica-se que para a idade de 12 anos, o volume médio obtido foi de 0,776 m³ e para a idade de 17 anos o volume médio foi de 1,445 m³ por árvore. Nota-se que o sítio localizado em Ventania – PR apresenta boa capacidade produtiva para esta espécie, e como já verificado para o *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, possivelmente esta espécie também não apresenta boa adaptação no cerrado.

Em relação ao valor determinado por Mendes (2001) de 0,570 m³ para árvores com 11 anos de idade, provenientes do mesmo sítio de crescimento, é possível verificar que este valor é similar ao resultado de 0,655 m³ encontrado no presente trabalho.

Pelissari, Lansanova e Drescher (2011) ajustando modelos volumétricos a partir de povoamento homogêneo localizado em Rondônia, obtiveram volumes médios sem casca de 0,040 m³, 0,068 m³, 0,106 m³, 0,142 m³, 0,178 m³, 0,213 m³, 0,242 m³, 0,278 m³ e 0,296 m³, para a evolução do crescimento ao longo dos 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12 anos, respectivamente. Comparando com os resultados apresentados na Tabela 4.4 para esta espécie, nota-se o incremento do volume no sítio de Ventania foi bastante superior.

Pinus taeda

Para o *Pinus taeda*, o resultado médio encontrado na literatura e descrito por Klock (2000) e Mendes (2001) a partir do mesmo plantio de Ventania – PR e com idade de 10 e 11 anos, respectivamente, foi de 0,334 m³ e 0,340 m³, onde estes valores são compatíveis com os volumes médios de 0,311 m³ e 0,353 m³ determinados nesta pesquisa.

Couto e Vettorazo (1999) estudando equações volumétricas e de peso seco para *Pinus taeda* com 6 e 11 anos, plantado em Telêmaco Borba – PR, obtiveram volume com casca de 0,078 m³ e 0,246 m³, sendo estes valores compatíveis com os valores médios apresentados na Tabela 4.4 para as respectivas idades.

Machado (1979) construindo tabelas de volume com casca a partir de estudo de *Pinus taeda* na região de Telêmaco Borba – PR, obteve para o mesmo diâmetro e altura citados na Tabela 4.1 para a espécie, volume de 0,600 m³, sendo este valor compatível ao volume médio de 0,670 determinado neste trabalho.

4.4.1.4 Incremento Corrente Anual em volume

Considerando que o volume é a variável de maior interesse tanto para os profissionais do manejo como para os profissionais da indústria madeireira, a Tabela 4.5 apresenta o incremento corrente anual em volume para as espécies estudadas.

Pode-se verificar que para as espécies *Pinus caribaea* var. *caribaea* e *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, provenientes do sítio de Itararé- SP, o ano de maior incremento foi o 13° e 14° ano, respectivamente, que correspondem aos anos de 2004 e 2005.

Já para as espécies provenientes do sítio de Ventania – SP, o melhor crescimento em termos de volume ocorreu na idade de 15 anos tanto para as espécies tropicais como para a testemunha, estando esta idade relacionada ao ano de 2005.

TABELA 4.5 – RESULTADOS MÉDIOS DO INCREMENTO CORRENTE ANUAL EM VOLUME (ICA_v) AO LONGO DOS 17 ANOS DE CRESCIMENTO

Espécie	<i>P.c.bahamensis</i>	<i>P.c.caribaea</i>	<i>P. c. hondurensis</i>	<i>P. chiapensis</i>	<i>P. maximinoi</i>	<i>P. oocarpa</i>	<i>P. tecunumanii</i>	<i>P. taeda</i>
Idade (anos)	(m ³)	(m ³)	(m ³)	(m ³)	(m ³)	(m ³)	(m ³)	(m ³)
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,001	0,002	0,003	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002
3	0,009	0,010	0,010	0,009	0,014	0,010	0,012	0,007
4	0,021	0,020	0,020	0,024	0,039	0,024	0,032	0,015
5	0,046	0,031	0,029	0,032	0,062	0,044	0,057	0,031
6	0,053	0,046	0,040	0,054	0,080	0,068	0,087	0,042
7	0,063	0,067	0,046	0,075	0,096	0,069	0,070	0,044
8	0,069	0,083	0,060	0,107	0,097	0,088	0,079	0,045
9	0,062	0,090	0,074	0,115	0,093	0,084	0,087	0,065
10	0,060	0,085	0,093	0,145	0,126	0,113	0,120	0,060
11	0,077	0,097	0,088	0,144	0,112	0,081	0,109	0,042
12	0,073	0,088	0,081	0,153	0,101	0,095	0,121	0,049
13	0,097	0,120	0,99	0,140	0,094	0,117	0,133	0,059
14	0,104	0,112	0,107	0,150	0,093	0,096	0,133	0,059
15	0,092	0,107	0,136	0,160	0,131	0,125	0,167	0,060
16	0,091	0,108	0,116	0,155	0,130	0,116	0,138	0,045
17	0,098	0,101	0,097	0,143	0,080	0,086	0,098	0,046

4.4.3 Fator de forma artificial

Na Tabela 4.6 são apresentados os valores médios do fator de forma artificial com e sem casca das espécies estudadas, aos 17 anos de idade.

TABELA 4.6 – RESULTADOS MÉDIOS DO FATOR DE FORMA ARTIFICIAL DAS ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

Espécie	Fator de forma	
	Com casca	Sem caca
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	0,4354	0,4402
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	0,4709	0,6511
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	0,4280	0,4380
<i>Pinus chiapensis</i>	0,3064	0,3080
<i>Pinus maximinoi</i>	0,3620	0,3612
<i>Pinus oocarpa</i>	0,4451	0,4558
<i>Pinus tecunumanii</i>	0,3903	0,4090
<i>Pinus taeda</i>	0,4242	0,4343

A partir da tabela acima pode-se verificar inicialmente, que diferentes espécies apresentam fatores de forma distintos, conforme relatado por Ferreira (1999), Machado e Figueiredo Filho (2003), Campos e Leite (2006) e Souza (2009).

Considerando o afilamento ao longo do fuste das espécies estudadas, é possível notar que o *Pinus caribaea* var. *caribaea*, apresenta o maior fator de forma com e sem casca, indicando desta forma, uma menor conicidade ao longo do fuste, o que irá refletir positivamente na quantidade e qualidade dos produtos gerados.

Por outro lado, o *Pinus chiapensis* apresentou o menor valor médio para a propriedade em questão, indicando que entre as espécies de *Pinus* avaliadas, é a espécie de maior conicidade.

Comparando os resultados descritos na Tabela 4.6 com outras pesquisas, observa-se que Machado, Urbano e Conceição (2005), obtiveram a partir de plantios de *Pinus oocarpa* com idade entre 5 a 25 anos, fator de forma artificial com casca de 0,4702 a 0,5615 e fator de forma artificial sem casca entre 0,5242 e 0,5587, sendo estes valores, na maioria dos casos, superiores aos descritos neste trabalho para todas as espécies. Especificamente para as idades de 15 e 19 anos, os fatores de forma com e sem casca determinados por tais autores foram de 0,4705 e 0,5365, onde estabelecendo uma relação com a idade de 17 anos para o *Pinus oocarpa* avaliado neste trabalho verifica-se que o fator de forma com casca (0,4451) é bastante similar, já o fator de forma sem casca apresenta uma maior diferença (0,4558), cujas diferenças estão associadas às práticas silviculturais, sítio e forma das árvores.

Pelissari, Lansanova e Drescher (2011) avaliando povoamentos de *Pinus* tropicais com 12 anos em Rondônia, obtiveram fatores de forma artificial sem casca entre 0,506 e 0,577 para o *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e 0,525 a 0,557 para *Pinus tecunumanii*. Comparando estes resultados com os valores apresentados na Tabela 4.6 para as mesmas espécies, verifica-se que ambas apresentam fator de forma inferior, indicando com isso, maior afilamento ao longo do fuste. Estas diferenças podem ser justificadas segundo as afirmações de Ferreira (1999), que relata que o fator de forma é também influenciado pelo espaçamento, desbastes, idade, assim como pelos elementos do ambiente, como temperatura, luz, umidade, vento, etc, assim como pelo relato de Scolforo *et al.* (1998), que afirmam que em uma mesma espécie as características de afilamento são diferenciadas devido os seus diversos estágios de desenvolvimento.

Drescher *et al.* (2001) em estudo do fator de forma para *Pinus elliottii* a partir de plantios localizados no Rio Grandes do Sul e com idade aproximada de 17 anos, obtiveram valores entre 0,4812 a 0,6440, a partir de diferentes diâmetros e em diferentes alturas (5 a 25 m), onde a medida que o diâmetro aumentou o fator de forma reduziu, e a medida que a altura aumentou, o fator de forma também apresentou elevação. Considerando o diâmetro limite de 30 cm e a altura mínima de 5 m apresentados no estudo de Drescher *et al.* (2001), cujo fator de forma estimado foi de 0,4682, é possível dizer que os valores médios de ambos os trabalhos são compatíveis.

4.4.4 – Volume e percentual de casca

Na Tabela 4.7 são apresentados os valores médios do volume médio e do percentual de casca das espécies estudadas.

TABELA 4.7 – RESULTADOS MÉDIOS DO VOLUME E DO PERCENTUAL DE CASCA DAS ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

Espécie	Volume casca (m³)	Percentual de casca (%)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	0,119 (15,21)	11,81 ab
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	0,129 (11,59)	11,72 ab
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	0,151 (12,61)	14,09 a
<i>Pinus chiapensis</i>	0,125 (23,82)	8,78 b
<i>Pinus maximinoi</i>	0,182 (30,83)	14,16 a
<i>Pinus oocarpa</i>	0,113 (23,70)	9,63 b
<i>Pinus tecunumanii</i>	0,142 (40,08)	10,35 ab
<i>Pinus taeda</i>	0,070 (24,31)	10,45 ab
<i>p</i>		0,001*

Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna são estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade. *Significativo a 5% de probabilidade; Valores entre parênteses referem-se ao Coeficiente de variação.

De acordo com a tabela acima, verifica-se que em termos volumétricos o *Pinus maximinoi* apresentou a maior quantidade média de casca por árvore, e o *Pinus taeda* em oposição, o menor volume de casca.

No entanto, além da quantificação volumétrica, é importante estabelecer também o percentual de casca em relação ao volume de madeira produzida. Esta informação é fundamental quando se pretende utilizar povoamentos florestais para celulose e papel e para fins energéticos, efetuando-se o planejamento adequado do suprimento. Esta informação é importante também, em termos de transporte e rendimento da madeira quando convertida em madeira serrada.

Considerando as informações mencionadas por Foelkel (2009), que afirma que algumas espécies são consideradas “cascudas” e apresentam percentual de casca de até 30% do volume do tronco, nota-se que as espécies de *Pinus* estudadas apresentaram percentual bastante inferior. As maiores proporções de casca foram encontradas a partir do *Pinus maximinoi* (14,16%) e do *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (14,09%), onde a análise de variância revelou que estas espécies diferiram estatisticamente apenas do *Pinus oocarpa* e do *Pinus chiapensis*.

Comparando estes resultados com a literatura, verifica-se que Couto e Brito (1982) ao avaliar o percentual de casca de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* a partir de plantios de 5 e 8 anos localizados na Bahia, obtiveram valores entre 28,36 % a 51,23% e 21,51% a 35,54%, respectivamente. Este maior percentual é explicado provavelmente pela diferença de idades, onde mesmo com o aumento da espessura da casca ao longo dos anos, a quantidade de madeira formada é superior, quantificando menor percentual de casca em relação ao tronco.

Shimoyama e Wiecheteck (1993) em estudo da qualidade da madeira de *Pinus patula* var. *tecunumanii*, obtiveram para plantio de 12 anos instalado em Anhembi - SP, percentual de casca no intervalo de 7,46% a 21,15%, a partir de diferentes alturas do fuste e valor médio de 10,79%. Em relação a este resultado, nota-se que o valor médio obtido no presente trabalho encontra-se dentro do intervalo de variação apresentado pelos referidos autores.

Machado e Garcia (1984) determinando o volume de casca a partir de plantios de *Pinus taeda* localizados em Telêmaco Borba, com idade entre 6 e 18 anos, obtiveram para diferentes classes diamétricas percentuais de casca entre 8,08% e 20,72%, onde a medida que aumentava a classe diamétrica, havia uma tendência de redução do percentual de casca. Comparando com o valor médio obtido neste trabalho para esta mesma espécie, nota-se que os valores são

compatíveis. Em uma análise mais acurada, verifica-se que o diâmetro médio obtido para esta espécie na presente pesquisa foi de 33,46 cm, e o percentual médio obtido por estes autores para a classe diamétrica 32-36 cm é de 12% de casca, sendo, portanto, similar com o valor de 10,45%, aqui obtido.

4.4.5 - Produção de massa seca

A Tabela 4.8 apresenta os valores médios de massa seca por árvore a partir das diferentes espécies, aos 17 anos de idade.

TABELA 4.8 – RESULTADOS MÉDIOS DE MASSA SECA DAS ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

Espécie	Volume s/c m ³	ME Kg/m ³	Massa seca (kg/árvo re)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	0,898	0,423	380 ab (7,17)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	1,038	0,418	434 ab (19,93)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	0,948	0,431	409 ab (31,95)
<i>Pinus chiapensis</i>	1,483	0,389	577 ab (33,78)
<i>Pinus maximinoi</i>	1,198	0,467	559 ab (32,85)
<i>Pinus oocarpa</i>	1,105	0,485	536 ab (25,43)
<i>Pinus tecunumanii</i>	1,303	0,489	637 a (48,02)
<i>Pinus taeda</i>	0,600	0,485	291 b (31,80)
<i>p</i>			0,049*

Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna são estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade. *Significativo a 5% de probabilidade; Valores entre parênteses referem-se ao Coeficiente de variação.

De acordo com os valores apresentados na Tabela 4.8, verifica-se que a espécie que apresentou a maior quantidade de massa seca por árvore foi o *Pinus tecunumanii*, resultado da espécie com maior massa específica básica e segundo maior volume individual entre as espécies estudadas. Por outro lado, entre as espécies de *Pinus* tropicais, a menor quantidade de matéria seca foi encontrada a partir do *Pinus caribaea* var. *bahamensis* com valor médio de 380 kg/árvore. Comparando os valores das espécies de *Pinus* tropicais com a testemunha, nota-se que nenhuma delas apresenta produtividade de massa seca inferior ao *Pinus taeda*.

Sob o ponto de vista industrial, uma maior quantidade de massa seca por árvore indica maior rendimento em celulose ou energia, ou ainda, é um indicador do teor de umidade da madeira para estas finalidades.

Em comparação com valores encontrados na literatura, verifica-se que Moura, Vale e Isaias (2004) avaliando a variabilidade genética em volume, massa específica básica e matéria seca, encontraram para diferentes procedências de *Pinus tecunumanii* com 17 anos instaladas em Planaltina – DF, matéria seca no intervalo de 88 kg a 157 kg/ árvore. Comparando estes resultados com os valores médios apresentados na Tabela 4.9 para a mesma espécie, nota-se, o *Pinus tecunumanii* utilizado no presente trabalho apresentou uma quantidade de matéria seca, pelo menos 4 vezes maior, reafirmando novamente, o elevado potencial produtivo da espécie na região de Ventania – PR e confirmando, como já mencionado por outros autores, que esta espécie não apresentou boa adaptação no cerrado.

Montagna *et al.* (1983) obtiveram para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* com 17 anos de idade provenientes de Mogi-Mirim – SP, matéria seca no intervalo de 45,30 kg a 87,00 kg, sendo este resultado bastante inferior ao encontrado no presente trabalho, o qual pode ser justificado pela baixa produtividade da espécie na região de São Paulo (0,129 a 0,216 m³).

Couto e Vettorazo (1999), em seleção de equações de volume e peso seco para *Pinus taeda*, obtiveram peso seco médio de 26,90 e 99,79 kg por árvore, a partir de indivíduos de 6 e 11 anos, respectivamente. Em comparação com os valores apresentados na Tabela 4.8 para o *Pinus taeda*, nota-se que são bastante inferiores, no entanto, são explicados pela grande diferença de idade, onde com o aumento da idade há um considerável aumento do volume individual, assim como há um aumento da massa específica, proporcionando com isso, valores muito maiores de matéria seca.

4.5 CONCLUSÕES

De acordo com os objetivos propostos e os resultados obtidos ao longo do capítulo conclui se que:

- O maior e o menor crescimento médio em diâmetro foi apresentado pelas espécies *Pinus chiapensis* (47,00 cm) e *Pinus caribaea* var. *bahamensis* (33,16 cm), respectivamente.
- A maior e menor altura média entre as espécies de *Pinus* tropicais foi para o do *Pinus chiapensis* (28,46 m) e do *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (24,11 m) respectivamente, no entanto, não foi constatada diferença estatística significativa entre elas.
- O maior volume médio individual entre as espécies de *Pinus* tropicais foi obtido a partir do *Pinus chiapensis* (1,608 m³), já o menor valor foi encontrado a partir do *Pinus caribaea* var. *bahamensis* (1,017 m³).
- Para todas as variáveis estudadas, o *Pinus taeda* (testemunha) apresentou as menores características de crescimento, onde estes resultados são justificados pelo fato de que o *Pinus taeda* é uma espécie de clima temperado.
- A análise das classes sociológicas indicou que a espécie *Pinus caribaea* var. *bahamensis* apresentou a menor diferença de volume entre as classes inferior e superior (0,091 m³) e o *Pinus tecunumanii* apresentou o maior valor médio (1,825 m³).
- Os fatores de forma com casca indicam que a espécie *Pinus chiapensis* apresentou o menor fator de forma (0,3064) e o maior fator de forma foi apresentado pelo *Pinus caribaea* var. *caribaea* (0,4709).
- A maior e menor proporção de casca foi obtida para as espécies *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (14,09%) e *Pinus chiapensis* (8,78%), respectivamente.
- Em termos de massa seca a espécie *Pinus tecunumanii* apresentou o maior valor médio.
- De uma maneira geral, considerando as características de crescimento, volumetria e massa seca, a espécie de maior destaque ou mais promissora é a espécie *Pinus tecunumanii*.

4.6 REFERÊNCIAS

ANDRADE, C.M.; FINGER, C.A.G.; THOMAS, C. SCHNEIDER, P.R. Variação do incremento anual ao longo do fuste de *Pinus taeda* L. em diferentes idades e densidades populacionais. **Ciência Florestal**, v. 17, n. 3, p. 239-246, 2007.

ARCE, J. E. **FlorExel**. Curitiba : Optimber, 2012. 1 CD-ROM.

BARNES, R.D.; WOODEND, J.J.; SCHWEPPENHAUSER, M.A.; MULLIN, L.J. Variation in diameter growth and Wood density in six-years-old provenance trials of *Pinus caribaea* Morelet on five sites in Rodhesia. **Silvae Genetica**, v. 28, n.5-6, p. 163-167, 1977.

BARRICHELLO, L.E.G. **Estudo das características físicas, anatômicas e químicas da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. E Golf. para a produção de celulose Kraft**. 167 f. Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura Luis de Queiróz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1979.

BARROS, D.A.; MACHADO, S.A.; ACERBI JUNIOR, F.W.; SCOLFORO, J.R.S.; Comportamento de modelos hipsométricos tradicionais e genéricos para plantações de *Pinus oocarpa* em diferentes tratamentos. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 45, p. 3 -28, 2002.

BERGER, R. Crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da fertilização. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

BRASIL, M.A.M.; NICOLIELO, N.; VEIGA, R.A.A. Variação da densidade básica da madeira de *Pinus oocarpa* Schiede em diversas idades na região de Agudos, SP. **Floresta**, v.11, n.1, p. 33 - 40, 1980.

BURGER, D. **Ordenamento Florestal 1: a produção florestal**. 4. ed. Curitiba: FUFPEF, 1980. 124 p.

BUSNARDO, C.A., GONZAGA, J.V., FOELKEL, C.E.B. Em busca da qualidade ideal da madeira do eucalipto para produção de celulose: II. Inter-relações entre propriedades das árvores e de suas madeiras. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CELULOSE E PAPEL, 3.,1983, São Paulo. **Anais...** São Paulo, ABCP, 1983. v.1, p.31-47.

CAMPOS, S.C.C.; TREVIZOL JR., T.L.; NETO, F.P. Ainda, sobre a seleção de equações de volume. **Revista Árvore**, v. 9, n. 2, p. 115-126, 1985.

CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G. **Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas**. 2 ed. Viçosa, UFV: Ed. UFV, 2006, 470 p.

CAPITANI, L.R.; SPELTZ, G.E.; BRITO, J.O.; BARRICHELI, L.E.G.A. Potencialidade de resinagem de quatro espécies de *Pinus* tropicais, na região de Sacramento – MG, **Circular Técnica**, IPEF, n. 10, 1980, 10 p.

CARRASCO, N.M. Atributos poblacionales y reproductivos de *Pinus chiapensis* en Chiapas, México. **Anales del Instituto de Biología**, v. 69, n.2, p. 119-134, 1998.

CASTELO, P.A.R. **Avaliação da qualidade da madeira de *Pinus taeda* em diferentes sítios de crescimento e espaçamentos, através do método não destrutivo de emissão de ondas de tensão**. 137 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

CHIES, D. **Influência do espaçamentos sobre a qualidade e o rendimento da madeira serrada de *Pinus taeda* L.** 123 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

COELHO, V.C.M. **Avaliação do manejo da produção econômica de madeira de *Pinus taeda* L. com características qualitativas superiores**. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

CONCEIÇÃO, M. B. **Comparação de métodos de estimativa de volume em diferentes idades em plantações de *Eucalyptus grandis* Hill Ex – Maiden**. 166 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

COUTO, H.T.Z.; BRITO, J.O. Produtividade de plantações florestais no Nordeste brasileiro. **IPEF**, v. 3, n.10, p. 71-83, 1982.

COUTO, H.T.Z.; VETTORAZO, S.C. Seleção de equações de volume e peso seco comercial para *Pinus taeda*. **Cerne**, v. 5, n.1, p. 69-80, 1999.

DANIEL, T.W., HELMS, J.A., BACKER, F.S. Principles of silviculture. New York: cGraw-Hill, 1979. 492 p.

DAVIS, L.S.; JOHNSON, K.N. **Forest management**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1987. 790 p.

DRESCHER, R. SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C.A.G.; QUEIROZ, F.L.C. Fator de forma artificial de *Pinus elliottii* Engelm para a região da serra do sudeste do estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 31, n. 1, p. 37-42, 2001.

ETTORI, L. C. ; SEBBEN, A. M. ; SATO, A. S. ; MORAIS, E. . Teste de procedências de *Pinus oocarpa* Schiede em três locais do Estado de São Paulo. **Revista do Instituto Florestal**, v. 14, n. 1, p. 39-51, 2002.

FERREIRA, M. Escolha de espécies arbóreas para a formação de maciços. **Documentos Florestais**. Piracicaba: ESALQ, 1987, 15 p.

FERREIRA, S.O. **Estudo da forma do fuste de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana***. 112 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

FIER, I.S.N. **Variação genética e métodos de melhoramento para *Pinus maximinoi* H.E.Moore em Telemaco Borba (PR)**. 46 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

FIGUEIREDO FILHO; C.G. OLIVEIRA, MOURA, J.B. CUNHA, U.S. Conversão de equações de volume em equações de forma compatíveis para *Pinus elliotti*. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1.; CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993. Curitiba, Florestas para o desenvolvimento: política, ambiente, tecnologia e mercado: anais. São Paulo: SBS, 1993, v.2, p. 501-503.

FIGUEIREDO FILHO, A; OLIVEIRA, C.G; MOURA, J.B; CUNHA, U.S. Comparação de métodos de estimativas para *Pinus oocarpa* em diferentes idades e diferentes épocas de desbastes. Colombo: Embrapa Florestas, 2005, 20p. Embrapa Florestas. **Boletim de Pesquisa Florestal**, 50.

FINGER, C.A.G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria. UFSM. CEPEF-FATEC. 269. p. 1992.

FLORSHEIM, S.M.B. **Curvas de isopropriedades da madeira de árvores de *Pinus Caribaea* var. *bahamensis***. 225 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

FOELKEL, C. **Individualização das fibras da madeira do eucalipto para a produção de celulose kraft**. Associação Brasileira Técnica de celulose e papel.

2009. Disponível em : <<http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos>>. Acesso em 26/03/2012.

FRANCIS, J. K. **The Luquillo Experimental Forest Arboretum**. Res. Note SO-358. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station.1989. 8 p.

FREITAS, M.L.M.; SEBBENN, A.M.; MARAIS, E.; ZANATTO, A.C.S.; SOUSA, C.M.R.; LEMOS, S.V.; Parâmetros genéticos em progênies de polinização aberta de *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, aos 22 anos de idade. **Revista do Instituto Florestal**, v. 17, n. 1, p. 103-111, 2005.

GAPARE, W.J.; HODGE, G.R; DVORAK, W.S. Genetic parameters and provenance variation os *Pinus maximinoi* in Brazil, Colombia and South Africa. **Forest Genetics**, v. 8, n. 2, p. 159-170, 2001.

GONÇALEZ, J.C.; VIEIRA, F.S.; CAMARGOS, J.A.A.; ZERBINI, N.J. Influência do sítio nas propriedades da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Cerne**, v. 15, n. 2, p. 251-255, 2009.

HUSCH; B; MILLER, C.I.; BEERS, T.W. **Forest mensuration**. New York: Wiley & Sons, 1982, 398 p.

KAGEYAMA, P.Y.; VENCOVSKY, R.; FERREIRA, M.; NICOLIELO, N. Variação genética entre procedências de *Pinus oocarpa* Schiede na região de Agudos – SP. **IPEF**, n.14, p.77-120, 1977.

KIETZA, J.E. *Pinus maximinoi*: a promising species in South Africa. **South African Forestry Journal**, n. 145, p. 33-38, 1988.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira de *Pinus oocarpa* Schiede e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*** Barr e Golf. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba,1989.

KLOCK, U. **Qualidade da Madeira de *Pinus maximinoi* H. E. Moore**. 291 f. Tese, (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

MACHADO, S.A. Tabela de volume para *Pinus taeda* na região de Telêmaco Borba – PR. **Floresta**, v. 10, n.1, p. 1979.

MACHADO, S.A.; CONCEIÇÃO, M.B.; FIGUEIREDO, D.J. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbastes em plantações de *Pinus oocarpa*. *Ciências Exatas e Naturais*, v. 4, n. 2, p. 185-196, 2002.

MACHADO, S.A.; GARCIA, E.R. Determinação do volume da casca em plantações de *Pinus taeda*. *Floresta*, v. 15, n. 1-2, p.17-125, 1984.

MACHADO, S.A. URBANO, E.; CONCEIÇÃO, M.B. Comparação de métodos e estimativa de volume para *Pinus oocarpa* em diferentes idades e diferentes regimes de desbaste. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 50, p. 81-98, 2005.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A . **Dendrometria**. Curitiba. 2003. 309 p.

MALAN, F.S. The wood properties and sawn-board quality of. South African- grown *Pinus maximinoi* (HE Moore). **Southern African Forestry Journal**, n. 208, p. 39-47, 2006.

MENDES, L.M. ***Pinus spp.* na produção de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 163 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

MENDES, L. M.; SILVA, J. R. M.; TRUGILHO, P. F. & LIMA, J. T. Densidade da madeira de *Pinus oocarpa* Schiede no sentido longitudinal dos caules. **Cerne**, v. 5, n. 1, 2001.

MISSIO, R.F.; CAMBUIM, J.; MORAES. M.L.T.; PAULA, R.C., Seleção simultânea de caracteres em progênie de *Pinus caribaea* Morelet var. *bahamensis*. **Scientia Forestalis**, n. 66, p. 161-168, 2004.

MONTAGNA, R.G.; BARBOSA, O.; BRASIL, M.A.M; VEIGA, R.A.A.; TOLEDO FILHO, D.V. Peso da matéria seca, densidade básica e dimensões de fibras de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Silvicultura**, n. 32, p. 837-840, 1983.

MORAES, M.L.T. **Variação genética e aplicação de análise multivariada em progênies de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* Barrett e Golfari**. 124 f. Tese (Livre Docência em Silvicultura) – Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, 2001.

MORAES, M.L.T.; MISSIO, R.F.; SILVA, A.M.; CAMBUIM, J.; SANTOS, L.A.; RESENDE, M.D.V. Efeito do desbaste seletivo nas estimativas de parâmetros genéticos em progênies de *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis*. **Scientia Forestalis**, n. 74, p. 55-65, 2007.

MOURA, V. P. G.; PARCA, M. L. S; SILVA, M. A. Variação da densidade básica da madeira de espécies e procedências de *Pinus* centro-americanos em três locais na região dos Cerrados. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 22-23, p.29-44, 1991.

MOURA, V.P.G.; DVORAK, W.S. Provenance and family variation of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* from Guatemala and Honduras, grown in Brazil, Colombia and Venezuela. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 2, p. 225-234, 2001.

MOURA, V.P.; VALE, A.T. Variabilidade genética na densidade básica da madeira de *Pinus tecunumanii* procedente do México e da América Central no cerrado. **Scientia Forestalis**, n. 62, p. 104-113, 2002.

MOURA, V.P.G.; VALE, A.T.; ISAIAS, F.B. Comparação entre dois métodos de avaliação da variabilidade genética em volume, densidade básica da madeira e matéria seca de *Pinus tecunumanii* (Schwd) Eguiluz e Perry. **Ciência Florestal**, v. 14, n.1, p. 77-84, 2004.

OLIVEIRA, F. L.; LIMA J. N., GARCIA, J. N., FLORSHEIM, S. M. B. Propriedades da madeira de *Pinus taeda* L. em função da idade e da posição radial na tora. **Revista do Instituto Florestal**, v. 18, p. 59-70, 2006.

PELLISSARI, A.L.; LANSSANOVA, L.R.; DRESCHER, R. Modelos volumétricos para *Pinus* tropicais, em povoamento homogêneo, no estado de Rondônia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 6, p. 173-181, 2011.

PINHEIRO, G.S. Comparação entre modelos para determinação da porcentagem de madeira em árvores de *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* Barr. et Golf. em Itirapina. **Revista do Instituto Florestal**, v. 17, n. 1, p. 97-102, 2005.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. **Mensura forestal**. San José, Costa Rica : IICA, 1997. 586 p.

QUINTANA, Y.G.; BRITO, E.A.; NOLAZCO, E.G. Ensayo de procedências de *Pinus caribaea* var. *caribaea* en alturas de pizarras, viñales, Pinar del Río, Cuba. **Revista Chapingo**, v. 13, n. 2, p. 125-129, 2007.

RODRIGUES, L.C.E. Gerenciamento da produção florestal. **Documentos Florestais**, Piracicaba, n.13, p. 1-41, 1991,

ROSOT, M.A.D.; FIGUEIREDO FILHO, A.; DISPERATI, A.A.; EMERENCIANO, D.B. Análise de tronco digital: uma nova metodologia para a medição de anéis de crescimento. **Floresta**, v. 33, n.3, p.235 - 255, 2003.

RUFINI, A.L.; SCOLFORO, J.R.; OLIVEIRA, A.D.; MELLO, J.M. Equações volumétricas para o cerrado *sensu stricto*, em Minas Gerais. **Cerne**, v. 16, n. 1, p. 1-11, 2010.

SAMPAIO, P.T.B. **Variação genética entre procedências e progênies de *Pinus oocarpa* Schiede, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. & Golf. e *Pinus maximinoi* H. E. Moore e métodos de seleção para melhoramento genético**. 169 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996.

SANSÍGOLO, C. A.; BARREIROS, R. M. Estudo comparativo das madeiras de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa* para produção de celulose Kraft. In: III CONGRESSO IBEROAMERICANO EN CELULOSA Y PAPEL, 2004, Cordoba. **Anais... CIADICYP**, 2004.

SCHNEIDER, P.R. **Introdução ao manejo florestal**. Santa Maria: UFSM, CEPEF, FATEC. 1993.

SCOLFORO, J.R.S.; RIOS, M.S.; OLIVEIRA, A.D.; MELLO, J.M.; MAESTRI, R. Acuracidade de equações de afilamento para representar o perfil de *Pinus elliottii*. **Cerne**, Lavras. v. 4, n.1, p. 100-122, 1998.

SEBBENN, AL.M.; FREITAS, M.L.M.; MORAIS, E. ZANATTO, A.C.S.; Variação genética em procedências de *Pinus patula* spp. *tecunumanii* no Noroeste do estado de São Paulo. **Revista do Instituto Florestal**, v. 17, n.1, p. 1-15, 2005.

SEBBENN, A.M.; VILLAS BOAS, O.; MAX, J.C.M.; FREITAS, M.L.M. Estimativa de parâmetros genéticos e ganhos na seleção para caracteres de crescimento em teste de progênies de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, em Assis –SP. **Revista do Instituto Florestal**, v. 22, n. 2, p. 279-288, 2010.

SERPE, E.L.; WATZLAWICK, L.F. Avaliação de incremento diamétrico inicial em diferentes espécies de *Pinus* na região de Santa Maria do Oeste (PR). **Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia**, v.2, n.3, p. 77-101, 2009.

SHIMOYAMA, V. R. S.; WIECHETECK, M. S. S. Características da madeira e da pasta termomecânica de *Pinus patula* var. *tecunumanii* para produção de papel imprensa. **IPEF**, v. 9, n. 27, p. 63-80, 1993.

SHIMOYAMA, V.R.S. **Estimativas de propriedades da madeira de *Pinus taeda* através do método não destrutivo de emissão de ondas de tensão, visando a geração de produtos de alto valor agregado**. 151 f. Tese (Doutorado em Ciências

Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

SILVA, J.M. **Análises genéticas em progênies de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* por caracteres quantitativos e marcadores moleculares.** Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista Julio Mesquita, Ilha Solteira, 2005.

SOUZA, C.A.M. Modelos de afilamento para *Pinus taeda* L. ajustados segundo a forma do tronco e métodos de estratificação. 120 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

STATGRAPHICS. Centurion XVI **User Manual.** by StatPoint Technologies, Inc. 2009.

THOMAS, C.; ANDRADE, C.M.; SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C.A.G. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 3, p. 319-327, 2006.

TONINI, H. **Crescimento em altura de *Pinus elliottii*. Engelm. em três unidades de mapeamento de solo, nas regiões da Serra do Sudeste e Litoral, no Estado do Rio Grande do Sul.** 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

TORRES, L.F.; MELO, R.; COLODETTE, J.L. Bleached Kraft Pulp Production From *Pinus Tecunumanii* (Eguiluz E Perry). **Árvore**, v. 29, n. 3, p. 489-494, 2005.

VARGAS, N.N.S.; SÁNCHEZ, R.F.C. Calidad de estación para *Pinus chiapensis* (Mart.) Andresen em El Rincón, Oaxaca, México. **Foresta Veracruzana**, v. 3, n.2, p. 9-12, 2001.

VIEIRA, A.H.; SHIMIZU, J.Y. Avaliação do potencial de produtividade da madeira de *Pinus tecunumanii* no sul de Rondônia. **Boletim de Pesquisa**, n. 24, 1998, 16p.

WRIGHT, JA., MALAN, FS. Variation in wood and tracheid properties of *Pinus maximinoi*, *P. pseudostrobus* and *P. patula*. **IAWA**, v.12, n.4, p. 467 - 475, 1991.

WRIGHT, J.A.; WESSELS, A. Laboratory scale pulping of *Pinus pseudostrobus* , *Pinus maximinoi* e *Pinus patula*. **IPEF Internacional**, v. 2, p. 39-44, 1992.

WRIGHT; J.A.; BAYLIS, B. Volume, pulp and paper-making traits of *Pinus maximinoi* provenances planted at two site in South Africa. **South African Forestry Journal**, n. 165, p. 37-40, 1993.

XAVIER, J. A.; MATOS, J. L. M.; TRIANOSKI, R. Variabilidade da massa específica básica de *Pinus taeda* L. em diferentes idades de plantio In: I SIMADERJ – SIMPÓSIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Anais...** Seropédica, UFRRJ, 2008. 1 CD-ROM.

ZHENG, Y.Q.; ENNOS, R.; WANG, H.R. Provenance variation and genetic parameters in a trial of *Pinus caribaea* Morelet var. *bahamensis* Barr. And Golf. **Forest Genetics**, v. 1, n. 3, p. 165-174, 1994.

CAPÍTULO 5

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES ANATÔMICAS DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

CAPÍTULO 5

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES ANATÔMICAS DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

5.1 INTRODUÇÃO

Para se obter o entendimento das propriedades tecnológicas e de seu comportamento frente as mais diversas utilizações, torna-se necessário o desenvolvimento de pesquisas relacionadas às características físicas, mecânicas, químicas, bem como, pesquisas a respeito da estrutura anatômica e das variações dos elementos celulares que constituem o lenho.

As diferenças existentes entre espécies e a variação das características anatômicas entre árvores e principalmente dentro de uma mesma árvore, são há muito tempo conhecidas e pesquisadas, no entanto, em função das diferentes características de crescimento, material genético e multiplicidade de interações, existe sempre a necessidade de dar continuidade à estudos desta natureza.

Entre as inúmeras características que uma espécie pode apresentar em função de sua estrutura e aparência, encontram-se as propriedades organolépticas, que podem ser observadas macroscopicamente na madeira. Estas propriedades, cheiro, gosto, desenho, textura, grã, cor e brilho, exercem acentuada influência sobre a qualidade da madeira, sendo em algumas espécies fator limitante para determinados usos. A cor especificamente, por ser um dos primeiros contatos visuais é um parâmetro que classifica esteticamente a madeira como aceitável ou não, determinando muitas vezes também, o seu valor de mercado. Sua uniformidade, principalmente na indústria moveleira, proporciona a reprodutibilidade e homogeneidade dos produtos e a necessidade de uso de pigmentos homogeneizadores da cor e suas respectivas dosagens, garantindo assim, o padrão de qualidade exigido pelo mercado.

Além destas, outras propriedades inerentes a estrutura da madeira, como por exemplo, as características dimensionais das fibras ou traqueóides, são de grande importância em estudos tecnológicos, onde estes elementos são influenciados pelos processos fisiológicos realizados pela árvore para sua sobrevivência, diferenciando-se acentuadamente nas diferentes posições do tronco.

As informações de comprimento, largura ou diâmetro e espessura de parede celular proporcionam inúmeras informações a respeito da qualidade da madeira, no entanto, quando são estabelecidas relações entre suas dimensões obtêm-se informações mais precisas, as quais podem melhor correlacionar-se com a qualidade da madeira e seus produtos, principalmente na área de celulose e papel.

Neste contexto, considerando que as espécies apresentam grande variabilidade na sua estrutura interna e conseqüentemente nas propriedades da madeira, e tendo em vista a necessidade de se obter usos mais adequados a partir das diferentes espécies, especialmente para as pouco estudadas tecnologicamente, este capítulo busca fornecer informações adicionais a respeito de algumas características anatômicas e organolépticas de sete espécies de *Pinus* tropicais, indicando com isso, as suas principais potencialidades tecnológicas.

5.1.1 Objetivo geral

Avaliar as propriedades anatômicas de sete espécies de *Pinus* tropicais.

5.1.2 Objetivos específicos

- Apresentar as propriedades organolépticas observadas nas sete espécies de *Pinus* tropicais.
- Quantificar a cor da madeira das diferentes espécies e sua variabilidade.
- Avaliar as características dimensionais dos traqueóides e sua variabilidade nos sentidos longitudinal e radial.
- Estabelecer as relações entre as dimensões dos traqueóides e identificar seu possível comportamento na produção de polpa celulósica e papel.

5.2 REVISÃO DE LITERATURA

5.2.1 Propriedades anatômicas

As espécies apresentam grande variabilidade na sua estrutura interna e conseqüentemente nas propriedades da madeira. Esta variabilidade se deve às diferenças estruturais que ocorrem desde a ultra estrutura da parede celular até às condições geográficas de crescimento (COWN, 1980). De acordo com Tsoumis (1991) as diferenças estruturais podem ser resumidas no arranjo dos tecidos, na ocorrência dos elementos anatômicos em diferentes proporções, nas dimensões dos elementos celulares e na localização dos componentes ao longo do fuste, as quais, segundo Pinheiro (1999) são condicionadas pelas características genéticas da árvore. Cown (1980) complementa ainda, que a variação de elementos e propriedades que ocorre dentro da própria árvore é considerada a mais significativa quando comparada com a variação entre árvores.

Desta forma, a diversidade estrutural dos elementos anatômicos da madeira refletem nas propriedades físicas, químicas e mecânicas, tais como, permeabilidade, comportamento quanto à capilaridade, condutividade térmica e difusão da água de impregnação (SIAU, 1984), contração e inchamento e propriedades de resistência (BURGER; RICHTER, 1991).

A descrição anatômica de madeiras, especificamente, é de fundamental importância para a determinação de seu aproveitamento tecnológico. Essa afirmação está baseada no fato de que as dimensões, a freqüência e o arranjo dos elementos anatômicos têm grande influência sobre as propriedades físicas e mecânicas da madeira (OLIVEIRA *et al.*, 2006). São parâmetros que visam estabelecer o potencial das diferentes espécies para as mais variadas utilizações.

Assim como os elementos anatômicos, as propriedades organolépticas também exercem influência sobre o uso final, sendo sinteticamente apresentadas a seguir.

5.2.1.1 Características organolépticas

As propriedades organolépticas são aquelas que impressionam os órgãos sensitivos (MORESCHI, 2010), identificadas e caracterizadas a partir da observação macroscópica da madeira as quais se resumem no cheiro, gosto, textura, desenho, brilho, grã e cor (ZENID, 2007). Segundo Moreschi (2010) são características ligadas ao valor decorativo e ornamental.

O cheiro é uma característica difícil de ser definida e se deve à presença de certas substâncias voláteis que se concentram principalmente no cerne (TSOUMIS; 1991; BURGER; RICHTER, 1991; MORESCHI, 2010). Devido à volatilidade destas substâncias, o cheiro tende a diminuir mediante a exposição, mas pode ser realçado pela raspagem, corte e umedecimento da madeira seca (BURGER; RICHTER, 1991).

Algumas espécies apresentam aroma muito agradável, sendo exploradas comercialmente para a produção de artigos de perfumaria, já outras, possuem aromas desagradáveis, limitando a sua utilização (BURGER; RICHTER, 1991; MORESCHI, 2010).

O gosto juntamente com o cheiro são características intimamente relacionadas por terem origem nas mesmas substâncias, sendo excepcionalmente utilizado na identificação de madeiras, no entanto, é uma característica limitante para a utilização da madeira para determinados fins como embalagem para alimentos, palitos para picolés e dentes e brinquedos e móveis infantis (BURGER; RICHTER, 1991; MORESCHI, 2010).

A textura é uma característica relacionada a dimensão e organização dos elementos celulares que compõem a madeira (ZENID; CECCANTINI, 2007) . A textura é avaliada de acordo com o grau de uniformidade da madeira, sendo classificada em textura grossa, média ou fina (BURGER; RICHTER, 1991; MORESCHI, 2010).

Na textura grossa são incluídas madeiras com poros grandes, visíveis a olho nu, parênquima axial contrastante ou raios largos. Já madeiras de textura fina apresentam elementos com dimensões muito pequenas, os quais se encontram

distribuídos no lenho de forma difusa, conferindo superfície homogênea e uniforme (TSOUMIS, 1991; BURGER; RICHTER, 1991; MORESCHI, 2010).

Nas gimnospermas, a textura é determinada principalmente pela maior ou menor nitidez, espessura e regularidade dos anéis de crescimento. Quando as zonas de lenho inicial e tardio são bem demarcadas, a madeira apresenta constituição heterogênea e é caracterizada como de textura grossa (BURGER; RICHTER, 1991; MORESCHI, 2010).

O brilho diz respeito à capacidade de um corpo refletir luz e sua importância está relacionada ao aspecto estético da madeira, podendo ser acentuado artificialmente por polimentos e acabamentos superficiais (TSOUMIS, 1991; BURGER; RICHTER, 1991). Segundo Moreschi (2010) como a madeira é um material heterogêneo, ocorre variação do brilho em função das faces avaliadas. Desta forma, Burger e Richter (1991) afirmam que a face radial apresenta maior brilho devido ao efeito das faixas horizontais dos raios. Várias madeiras apresentam brilho natural que está relacionado tanto com a orientação dos elementos celulares como com a presença de extrativos no cerne (ZENID; CECCANTINI, 2007)

Já o desenho descreve a aparência natural das faces da madeira, resultante das características macroscópicas cerne e alburno, cor, grã e principalmente dos anéis de crescimento e dos raios (BURGER; RICHTER, 1991; MORESCHI, 2010). Segundo Zenid (2007) durante o seu crescimento a árvore não segue uma figura geométrica perfeita, o que gera uma combinação muito variada de desenhos, conforme o tipo de corte adotado no desdobro. Além disso, desenhos especiais são formados pela pigmentação do cerne.

A grã está relacionada à orientação dos elementos constituintes do lenho em relação ao eixo da árvore e decorre do processo de crescimento sob as mais diversas influências (TSOUMIS, 1991; BURGER; RICHTER, 1991; BOYER; SHMULSKY; HAYGREEN, 2003; MORESCHI, 2010). A orientação da grã muitas vezes proporciona aspectos atrativos e decorativos à madeira, no entanto, pode ocasionar anormalidades estruturais (TSOUMIS, 1991), afetando significativamente as propriedades da madeira, onde quanto maior for o desvio, menor a resistência mecânica e mais acentuada a ocorrência de defeitos de secagem (BURGER; RICHTER, 1991), maior fragilidade e tendência a distorção com mudanças no teor

de umidade (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968; GURFINKEL, 1973; IWAKIRI, 1982; KLOCK, 2000; CASTELO, 2007).

Em decorrência do processo de crescimento, sob as mais diversas influências, há uma grande variação natural no arranjo e direção dos tecidos axiais, originando grã direita ou reta, grã espiralada, entrecruzada, ondulada e inclinada (BURGER; RICHTER, 1991).

5.2.1.1.1 Cor

A cor é uma das principais características da madeira, sendo muito utilizada na identificação de espécies, além de adicionar valor estético (CORE, CÔTÉ, DAY, 1979). É um fator preponderante no mercado, determinando o seu preço final, sobretudo quando servirá para a produção de móveis (GONÇALEZ, 1993⁷ citado por BARRETO; PASTORE, 2004), processo que requer uniformidade e reprodutibilidade do produto final (BARRETO; PASTORE, 2004). Abrahão (2005) reafirma a importância da cor na indústria moveleira relatando que esta propriedade merece destaque, já que sua homogeneidade em um lote a ser utilizado industrialmente é um quesito básico de qualidade, o qual refletirá na homogeneidade dos produtos resultantes do seu beneficiamento, além de indicar a necessidade de uso de pigmentos e outros tipos de acabamento. Segundo este mesmo autor, as dosagens dos produtos de acabamento são também determinadas a partir do conhecimento dos padrões de cor identificados na matéria-prima.

De acordo com Mori *et al.* (2005) na madeira, a cor por ser um dos primeiros contatos visuais é um parâmetro que a classifica esteticamente como aceitável ou não, onde a análise final desta característica em um produto garante um padrão de qualidade de mercado, exigido mundialmente. Gonzalez *et al.* (2001) complementam ainda, que a determinação da cor pode contribuir no preço de mercado.

Assim, torna-se clara a necessidade da determinação da cor da madeira, onde esta propriedade deve ser incorporada ao planejamento visando a

⁷GONZALEZ, J.C. **Characterisation technologique de quatre especes peu connues de la foret amazonienne: anatomie, chimie, couleur, propriétés physiques et mécaniques.** Nancy: Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêt, 1993. 445 p. Docteur Thesis - Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêt, 1993.

caracterização tecnológica para atender os usos mais nobres deste material, e sua variabilidade deve ser entendida como instrumento de tomada de decisão sobre a sua utilização como matéria-prima de um segmento industrial.

A variabilidade da cor da madeira se deve à impregnação de diversas substâncias orgânicas nas células e nas paredes celulares, as quais encontram-se depositadas de forma mais acentuada no cerne, podendo variar em função da espécie, clima, solo, entre outros fatores (BURGER; RICHTER, 1991). Mady (2000) corrobora a origem da cor em relação à composição química, relatando que esta se deve à presença de taninos, fenóis, flavonóides, estilbenos, quinonas e outros, e Gonzalez (1993) citado por Ribeiro (2009) complementa ainda, que a cor pode ser influenciada também pela anatomia, método de derrubada, posição da amostra na árvore, espécie, altura, diâmetro da árvore, qualquer fator relacionado ao meio ambiente e idade da árvore, além de fatores genéticos. Além disso, Pastore (2004) complementa que toda madeira sofre modificação da cor devido a natureza dos seus constituintes químicos, os quais são susceptíveis a reações com a luz e com o calor, alterando sua coloração original.

Uma metodologia sofisticada para determinar a cor da madeira é pelo método colorimétrico, onde são medidos valores reflectantes das cores básicas por meio de um fotômetro com filtro de leitura de reflectância, o qual se baseia no sistema CIELab (Comission International de L'Eclairage ou Comissão Internacional de Iluminantes), e define a cor a partir das coordenadas cromáticas: claridade ou luminosidade, tonalidade ou matiz e saturação ou cromaticidade (MACHADO *et al.*, 1997; GONÇALEZ *et al.*, 2001).

As madeiras oferecem uma grande variedade de cores, com inúmeras tonalidades, reflexo da expressão do genoma das árvores crescendo em diferentes ambientes (ZENID, 2007), onde o padrão de coloração pode variar em tonalidades que vão desde o bege claro até o marrom escuro, quase preto (MORI *et al.*, 2005). Desta forma, para efeitos práticos, as cores são resumidas nos seguintes grupos: esbranquiçada, amarelada, avermelhada, acastanhada, parda, enegrecida e arroxeadada (IAWA, 1989).

5.2.1.2 Características dos traqueóides

Nas gimnospermas, mais comumente chamadas de coníferas e que compreendem as espécies do gênero *Pinus*, a constituição anatômica é bem mais simples e menos especializada do que nas folhosas, no entanto, devido ao menor número de caracteres, a sua identificação é bem mais difícil (BURGER; RICHTER, 1991). De acordo com Sjöström (1981) os traqueóides constituem aproximadamente 90% a 95% do volume de madeira, sendo o restante composto por células de raio. Estes traqueóides se apresentam como células alongadas, mais ou menos pontiagudas e de longevidade muito curta, os quais desempenham funções de condução de líquidos e sustentação do lenho difícil (BURGER; RICHTER, 1991).

Em função da elevada ocorrência de traqueóides, o estudo de suas características se torna extremamente importante, onde os parâmetros mais comuns são o seu comprimento, a largura, espessura de parede celular e diâmetro do lume, os quais originam diversos índices e informações sobre a qualidade dos elementos e conseqüentemente da espécie. Estas características dimensionais são influenciadas pelos processos fisiológicos realizados pela árvore para sua sobrevivência diferenciando-se acentuadamente nas direções longitudinais e radiais do fuste.

O comprimento dos traqueóides é influenciado pelas divisões longitudinais-tangenciais que ocorrem no câmbio, onde um elevado crescimento, proporcionado por condições ótimas, indica grandes taxas de hormônios as quais induzem às células a rápidas divisões, gerando elementos celulares mais curtos em períodos de alto ritmo de desenvolvimento (PANSIN; DE ZEEW, 1980; SHIMOYAMA, 2005, CASTELO, 2007).

Além disso, o comprimento dos traqueóides é afetado pela idade da árvore, onde com o aumento desta variável as células do câmbio passam a produzir células com maiores dimensões até atingirem a estabilização em idades mais avançadas (COWN, 1975; COWN, 1980, SHIMOYAMA, 2005). Deste modelo de crescimento, são então originados elementos celulares de menor comprimento próximo a medula, os quais aumentam gradualmente no sentido da casca até atingirem a estabilização (BARRICHELO, 1979; KLOCK, 2000; SHIMOYAMA, 2005). Cown (1975) e Fujiwara e Yang (2000) complementam ainda, que o comprimento dos traqueóides é

influenciado por fatores relacionados ao sítio de crescimento, a temperatura e a luminosidade.

De acordo com Mendonça (1982) as espécies do gênero *Pinus* apresentam no sentido longitudinal, uma tendência de aumento do comprimento dos traqueóides até a metade do fuste, e a partir desta região sofrem um decréscimo até a copa, sendo este decréscimo explicado pela elevada concentração de auxinas nas regiões próximas a copa, as quais induzem os meristemas apicais a acelerar as divisões das células antes de atingirem seu crescimento potencial. Cown (1975) e Panshin e De Zeew (1980) corroboram as informações correlatas a variação do comprimento dos traqueóides no tronco afirmando que, de maneira geral, o comprimento máximo dos traqueóides ocorre na parte externa do tronco, numa faixa compreendida entre 20% e 75% da altura da árvore.

A largura dos traqueóides assim como o diâmetro do lume, também são propriedades influenciadas pela taxa de crescimento e pela idade das árvores, onde em períodos de elevado crescimento os elementos celulares são acentuadamente largos e com grandes diâmetros de lume. Como as árvores apresentam uma alta taxa de crescimento nos primeiros 10 a 12 anos de idade e, posteriormente, tendem a estagnar, as fibras mais largas e com maiores diâmetros do lume estão mais restritas à região interna do tronco, ou seja, na madeira juvenil (BARRICHELO, 1979; PANSHIN; ZEEUW, 1980; COWN, 1992; KLOCK, 2000; CASTELO, 2007). A largura também está associada ao tipo de lenho, onde fibras de maior largura são originadas durante o início de crescimento na primavera (lenho inicial), e as mais estreitas são produzidas na margem mais externa do anel, ou seja, logo após o fim da estação de elevado ritmo de crescimento (lenho tardio) (COWN, 1975; PANSHIN; DE ZEEUW, 1980).

A espessura de parede celular também é afetada pela idade da árvore, apresentando um aumento linear com o incremento da idade, portanto, o tecido cambial mais velho, produz também células com características adultas, apresentando maior espessura de parede (COWN, 1980). Dessa forma, as coníferas tendem a aumentar a espessura de parede do centro (madeira juvenil) para a região externa do tronco (madeira adulta) (BARRICHELO, 1979; TOMASELLI, 1979; KLOCK, 2000; HASSEGAWA, 2003; SHIMOYAMA, 2005; CASTELO, 2007).

Tanto no sentido radial, quanto axial, a espessura de parede apresenta variação oposta à largura e diâmetro do lume das fibras, indicando que as fibras mais largas e

com os maiores diâmetros de lume apresentam paredes mais delgadas (PANSHIN; ZEEUW, 1970; BARRICHELO, 1979; SHIMOYAMA, 2005).

A avaliação das propriedades das fibras pode ser efetuada a partir de suas características brutas, no entanto, quando são estabelecidas relações entre suas dimensões obtém-se informações mais precisas, as quais podem melhor se correlacionar com a qualidade da madeira e seus produtos, principalmente na área de celulose e papel. De acordo com Foelkel (1976), Barrichelo (1979), Klock (2000), Hasegawa (2003) e Shimoyama (2005), na produção de celulose e papel as dimensões das fibras ou traqueóides exercem influência direta nas variáveis do processo, principalmente no grau de refino, na qualidade da pasta e consequentemente, nas propriedades físicas e mecânicas do papel.

Os índices mais comuns são o Índice de Runkel, Fração Parede, Coeficiente de Flexibilidade e Índice de Enfeltramento, os quais fornecem informações extremamente relevantes a respeito da qualidade da polpa celulósica e do papel. Índice de Boiler e Índice de Mulsteph, são também parâmetros relacionados à qualidade das fibras para produção celulósica e de papel, no entanto, são menos enfatizados já que literatura não apresenta uma interpretação detalhada de seus valores e sua influência.

A Tabela 5.1 apresenta estes índices e sua influência sobre a qualidade da polpa celulósica e do papel.

TABELA 5.1 – ÍNDICES PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA POLPA CELULÓSICA E DO PAPEL

Índice	Classificação	Características e efeitos no papel
Índice de Runkel ¹	≤ 0,25	Fibras muito flexíveis, excelente capacidade de acomodação. Ótima condição para produção de papel.
	0,25 a 0,50	Fibras um pouco menos flexíveis em relação ao caso anterior. Bons resultados na fabricação de papel.
	0,50 a 1,00	Fibras menos flexíveis e macias. Propriedades mecânicas do papel modestas.
	> 1	Fibras rígidas e baixa capacidade de fabricação de papel.
Fração Parede ²	< 40%	Fibras menos rígidas, mais flexíveis, menor dificuldade de interligação. Maior resistência a tração e ao arrebentamento e menor resistência ao rasgo.
Coef. de Flexibilidade ³	< 30 %	Elementos não colapsam, pouca superfície de contato, união entre os elementos celulares fraca.
	30-50 %	Pouco colapso, pouca superfície de contato, pouca união entre os elementos celulares.
	50-75 %	Colapso parcial, boa superfície de contato, boa união entre os elementos celulares.
	> 75 %	Bom colapso, boa superfície de contato e boa união entre os elementos celulares.
Índ. de Enfeltramento ⁴	Maior possível	Fibras mais espessas e maior resistência ao rasgo.

¹CAUMO (2003); ²FOELKEL; BARRICHELO (1975); ³ISTAS; HEREMANS; RAEKELBOOM (1954) citados por ROJAS (1996) ⁸; ⁴WATSON; DADSWELL (1961).

⁸ ISTAS, J.R.; HEREMANS, R.; RAEKELBOOM, E.L. INEAC. *Série Technique*, n. 43, p. 29, 1954.

5.3 MATERIAIS E MÉTODOS

As propriedades anatômicas foram determinadas a partir dos mesmos discos utilizados na análise do crescimento e produção volumétrica dos *Pinus* tropicais, apresentada no Capítulo 4.

A descrição macroscópica foi efetuada de acordo com a metodologia proposta por Muniz e Coradin (1991), a partir de todos os discos a 25% da altura comercial. As características foram observadas a partir do disco inteiro, bem como nos discos seccionados e nas amostras orientadas, confeccionadas com dimensões nominais de 1,5 x 1,5 x 2,0 cm, de regiões distintas no sentido radial: medula ou cerne, região intermediária e próxima a casca (alburno). As amostras retiradas próximas a medula localizaram-se nos 2 primeiros anos de vida da árvore, as amostras retiradas na região intermediária correspondiam aproximadamente ao 10° anel de crescimento e as amostras situadas próximo a casca correspondiam ao 16° e 17° anel de crescimento.

A obtenção das imagens microscópicas foi efetuada por meio da técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV) em Microscópio da marca Jeol, modelo JSM – 6360 LV, do Centro de Microscopia Eletrônica da UFPR. A aceleração de voltagem foi de 15 KV e o sinal utilizado foi elétrons secundários. As amostras foram retiradas no sentido radial, nas posições próximo a medula e próximo a casca, as quais passaram por recobrimento com ouro e carbono.

O estudo da cor da madeira das espécies de *Pinus* tropicais foi efetuada em espectrofotômetro de cor, marca Konica Minolta, utilizando o sistema CIELab, a partir das amostras orientadas (acima descritas), onde os espectros foram coletados a partir dos 3 planos anatômicos e nas 3 posições radiais, no sentido medula-casca. Foram efetuadas 6 repetições por amostra, sendo 2 no plano transversal, 2 no plano tangencial e 2 no plano radial.

A metodologia utilizada foi baseada nos procedimentos adotados por González *et al.* (2001), os quais também apresentam as definições dos parâmetros colorimétricos. Após a coleta dos parâmetros claridade (L^*) e coordenadas a^* e b^* , foram determinados os parâmetros de saturação da cor (C) e ângulo de tinta (h^*) por meio das seguintes equações: $C = (a^2 + b^2)^{1/2}$ e $h^* = \tan^{-1}(b^*/a^*)$.

Para a mensuração das características morfológicas dos traqueóides foram coletadas amostras nas alturas relativas a 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial, avaliando-se neste caso a variação longitudinal. A variação radial foi efetuada a partir de amostras coletadas a 25% da altura comercial, na região próxima a medula, região intermediária e região próxima a casca.

O processo de maceração da madeira foi efetuado de acordo com a técnica de Franklin (1975) modificada, descrita por Kraus e Arduin (1997), utilizando solução de peróxido de hidrogênio e ácido acético na proporção 1:1, a qual permaneceu em estufa a 60° C por 24 h. O material foi então lavado com água destilada e corado com safranina. As medições dos elementos celulares seguiram as normas da IAWA (1989) e Muñiz e Coradin (1991), sendo medidas 40 fibras por amostra e posteriormente calculadas as relações entre as dimensões das fibras: Coeficiente de Flexibilidade (CF), Fração Parede (FP), Índice de Runkel (IR) e Índice de Enfeltramento (IE), de acordo com as equações descritas por Foelkel e Barrichelo (1975).

A análise estatística foi utilizada para avaliar as diferenças de cor nas diferentes espécies, nos diferentes planos e posições, assim como para avaliar a diferença das características médias dos traqueóides entre espécies e no sentido longitudinal e radial na espécie, além dos índices indicativos da qualidade das fibras para a produção de polpa celulósica.

A Figura 5.1 apresenta alguns dos procedimentos realizados neste capítulo para estudo das propriedades anatômicas.



FIGURA 5.1 – PROCEDIMENTOS PARA DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES ANATÔMICAS

a e b) Amostragem; c) Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) d) Espectrofotômetro de cor; e) Maceração dos traqueóides; f) Medição dos traqueóides.

5.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.4.1 Descrição macroscópica das espécies

As características organolépticas das espécies estudadas, juntamente com as imagens macroscópicas e microscópicas são apresentadas a seguir.

5.4.1.1 *Pinus caribaea* var. *bahamensis*

A madeira do *Pinus caribaea* var. *bahamensis* apresenta cerne e alborno distintos com coloração amarela clara a amarela alaranjada, cheiro característico de resina, grã direita, brilho moderado, textura média a grossa, anéis de crescimento distintos e presença de falsos anéis. Foi também observado crescimento excêntrico em algumas árvores.

Na Figura 5.2 são apresentadas as imagens macroscópicas e a microscopia eletrônica de varredura desta espécie.

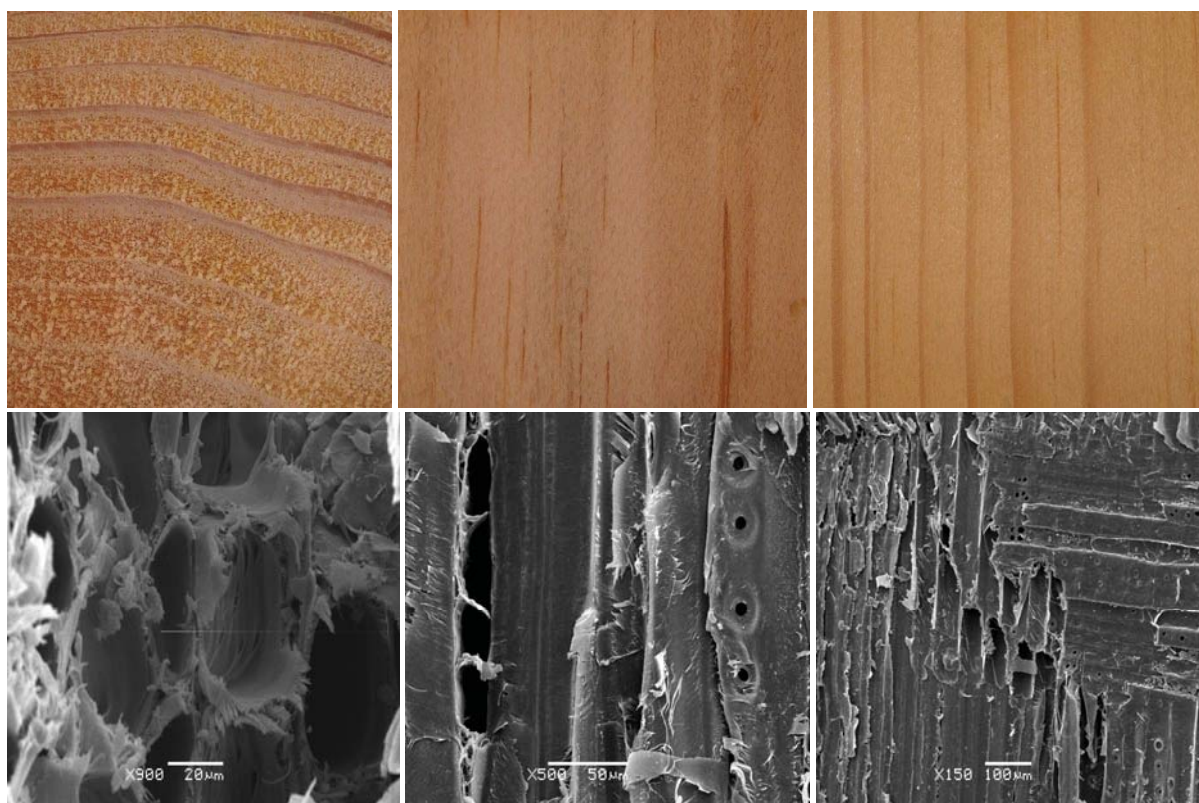


FIGURA 5.2 – FOTOS MACROSCÓPICAS E MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DA ESPÉCIE *Pinus caribaea* var. *bahamensis*

NOTA: Planos transversal, tangencial e radial, respectivamente.

5.4.1.2 *Pinus caribaea* var. *caribaea*

A madeira do *Pinus caribaea* var. *caribaea* apresenta cerne e albarno distintos com coloração amarela clara a amarela alaranjada, cheiro característico de resina, grã direita, brilho moderado, textura média a grossa, anéis de crescimento pouco distintos próximo a medula tornando-se bem distinto da região intermediária até a casca. Foi também observada a presença de falsos anéis, assim como crescimento excêntrico.

Na Figura 5.3 são apresentadas as imagens macroscópicas e a microscopia eletrônica de varredura desta espécie

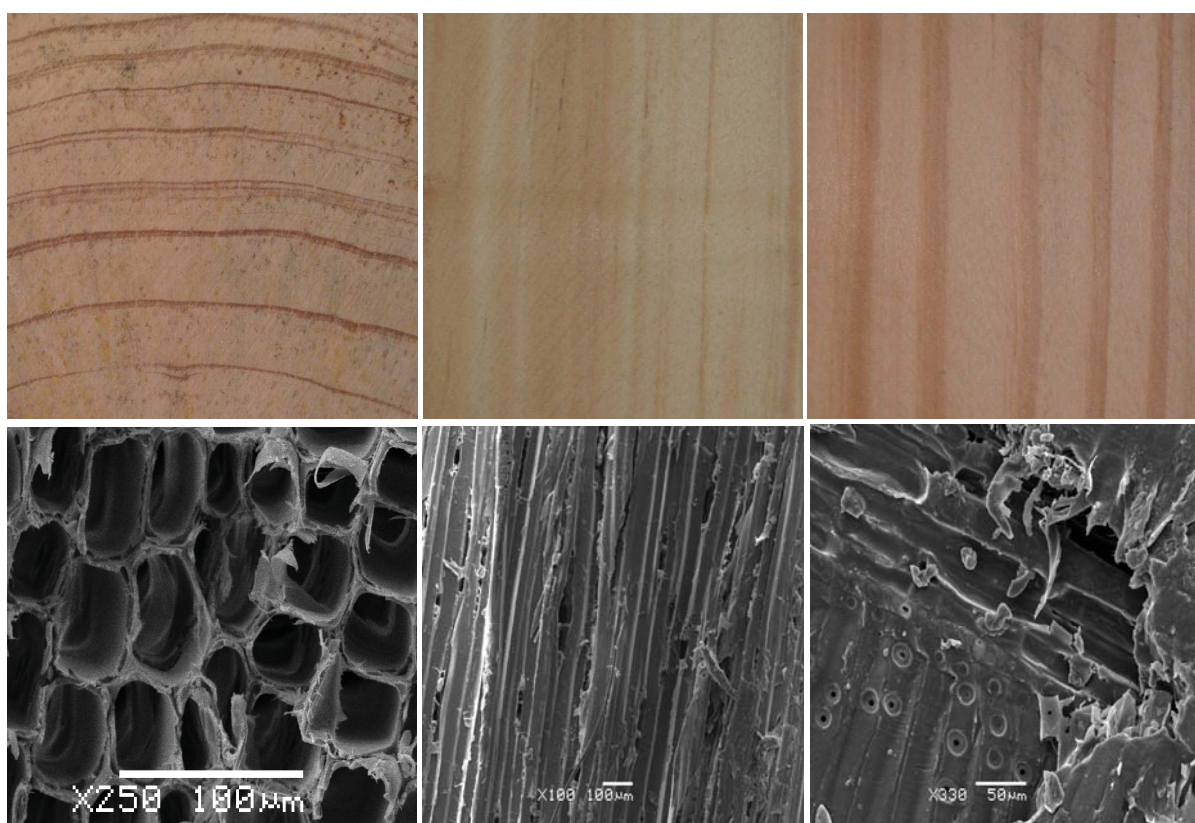


FIGURA 5.3 – FOTOS MACROSCÓPICAS E MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DA ESPÉCIE *Pinus caribaea* var. *caribaea*

NOTA: Planos transversal, tangencial e radial, respectivamente.

5.4.1.3 *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

A madeira do *Pinus caribaea* var. *hondurensis* apresenta cerne e albarno distintos cuja coloração varia do branco-palha ao amarelo-alaranjado, cheiro

característico de resina, grã direita, brilho moderado, textura média a grossa, anéis de crescimento levemente distintos próximo a medula tornando-se bem distintos próximo a casca. Foi também observada a presença de falsos anéis, assim como crescimento excêntrico na maioria das árvores e elevada ocorrência de madeira de compressão.

Na Figura 5.4 são apresentadas as imagens macroscópicas e a microscopia eletrônica de varredura desta espécie.

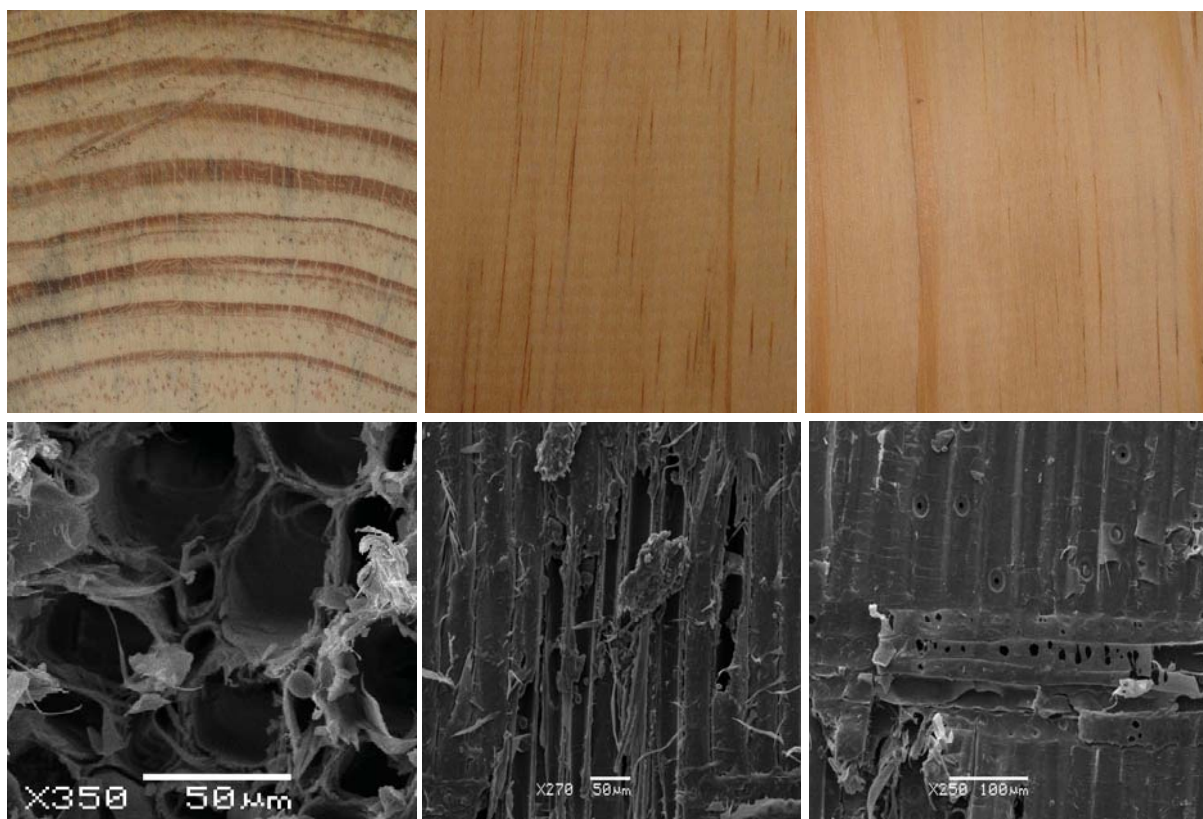


FIGURA 5.4 – FOTOS MACROSCÓPICAS E MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DA ESPÉCIE *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

NOTA: Planos transversal, tangencial e radial, respectivamente.

5.4.1.4 *Pinus chiapensis*

A madeira do *Pinus chiapensis* apresenta cerne e albarno distintos cuja coloração varia do amarelo claro a tons alaranjados próximo a medula, cheiro

característico de resina, grã direita, brilho moderado, textura média a grossa, anéis de crescimento pouco distintos.

Na Figura 5.5 são apresentadas as imagens macroscópicas e a microscopia eletrônica de varredura desta espécie.

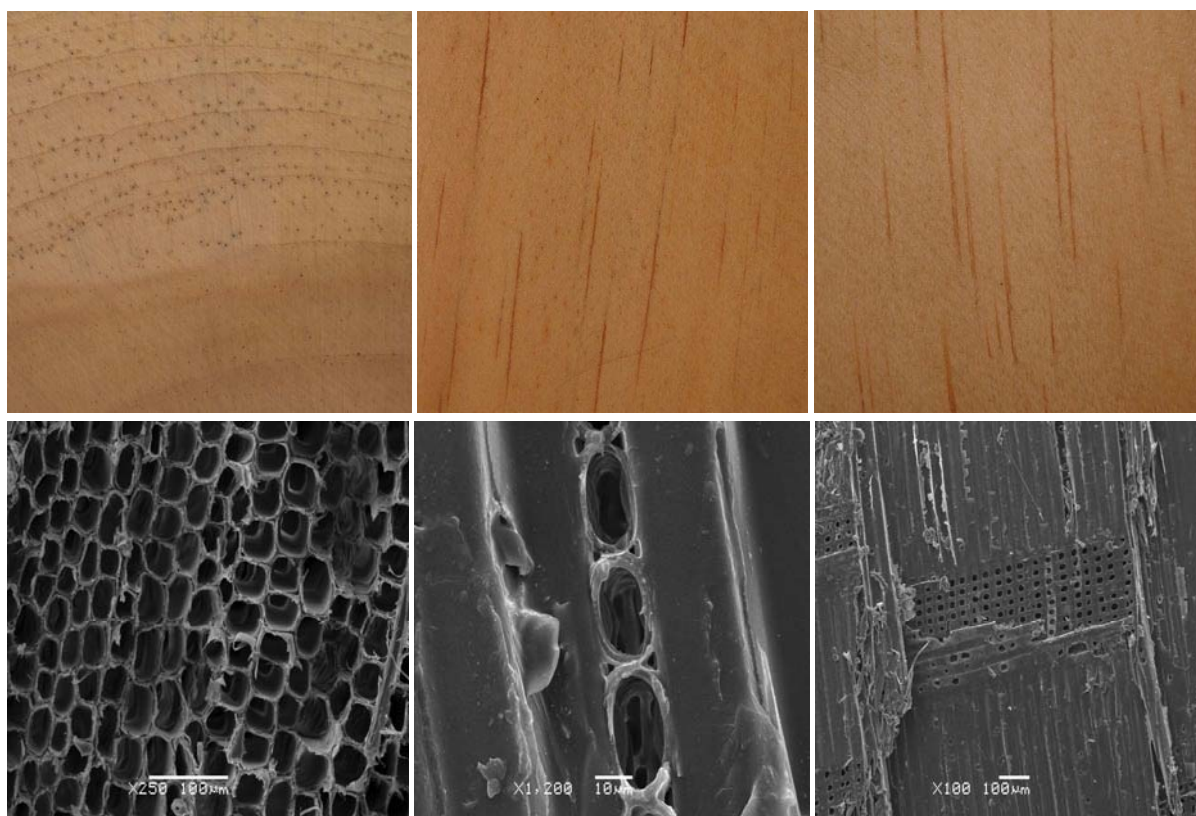


FIGURA 5.5 – FOTOS MACROSCÓPICAS E MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DA ESPÉCIE *Pinus chiapensis*

NOTA: Planos transversal, tangencial e radial, respectivamente.

5.4.1.5 *Pinus maximinoi*

A madeira do *Pinus maximinoi* apresenta cerne e albarno distintos, coloração variando de amarela clara a amarela alaranjada, cheiro característico de resina, grã direita, brilho moderado, textura média a grossa, anéis de crescimento distintos. Não foi observada a presença de falsos anéis, crescimento excêntrico ou presença de madeira de compressão.

Na Figura 5.6 são apresentadas as imagens macroscópicas e a microscopia eletrônica de varredura desta espécie.

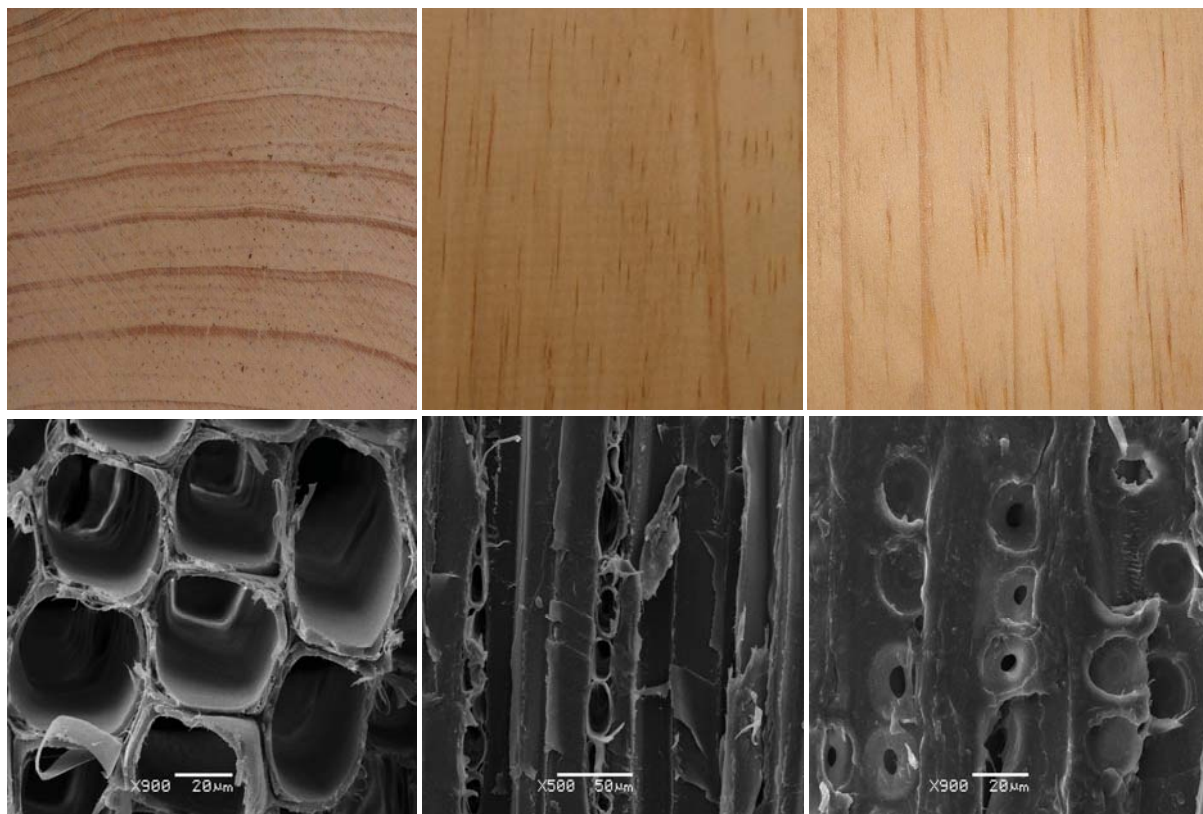


FIGURA 5.6 – FOTOS MACROSCÓPICAS E MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DA ESPÉCIE *Pinus maximinoi*

NOTA: Planos transversal, tangencial e radial, respectivamente.

5.4.1.6 *Pinus oocarpa*

A madeira do *Pinus oocarpa* apresenta cerne e alburno distintos, coloração variando do amarelo claro a tons alaranjados na região do cerne, cheiro característico de resina, grã direita, brilho moderado, textura média a grossa, anéis de crescimento distintos. Foi também observado crescimento excêntrico e presença de madeira de compressão em algumas árvores.

Na Figura 5.7 são apresentadas as imagens macroscópicas e a microscopia eletrônica de varredura desta espécie.

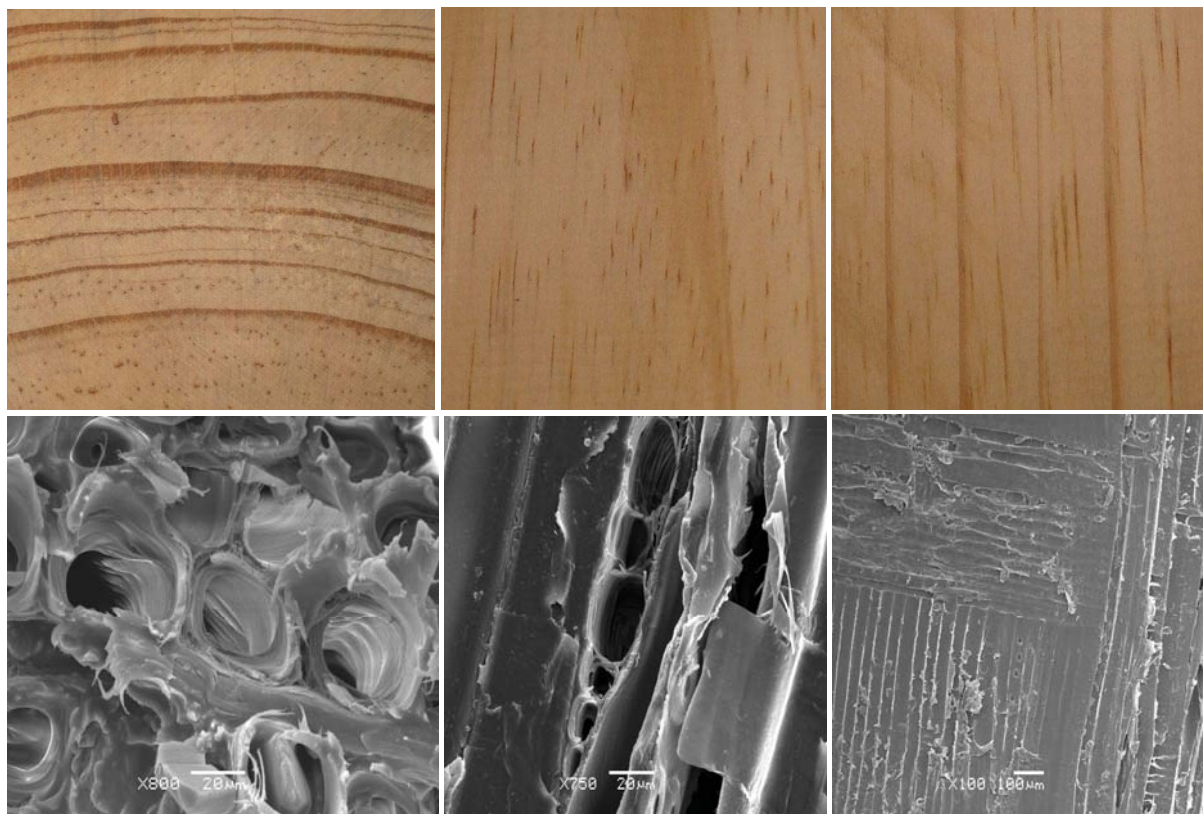


FIGURA 5.7 – FOTOS MACROSCÓPICAS E MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DA ESPÉCIE *Pinus oocarpa*

NOTA: Planos transversal, tangencial e radial, respectivamente.

5.4.1.7 *Pinus tecunumanii*

A madeira do *Pinus tecunumanii* apresenta cerne e alburno distintos, coloração amarela clara, sendo também evidenciada coloração amarela alaranjada na região do cerne, cheiro característico de resina, grã direita, brilho moderado, textura média, anéis de crescimento distintos. Em algumas árvores foi encontrada a presença de madeira de compressão.

Na Figura 5.8 são apresentadas as imagens macroscópicas e a microscopia eletrônica de varredura desta espécie.

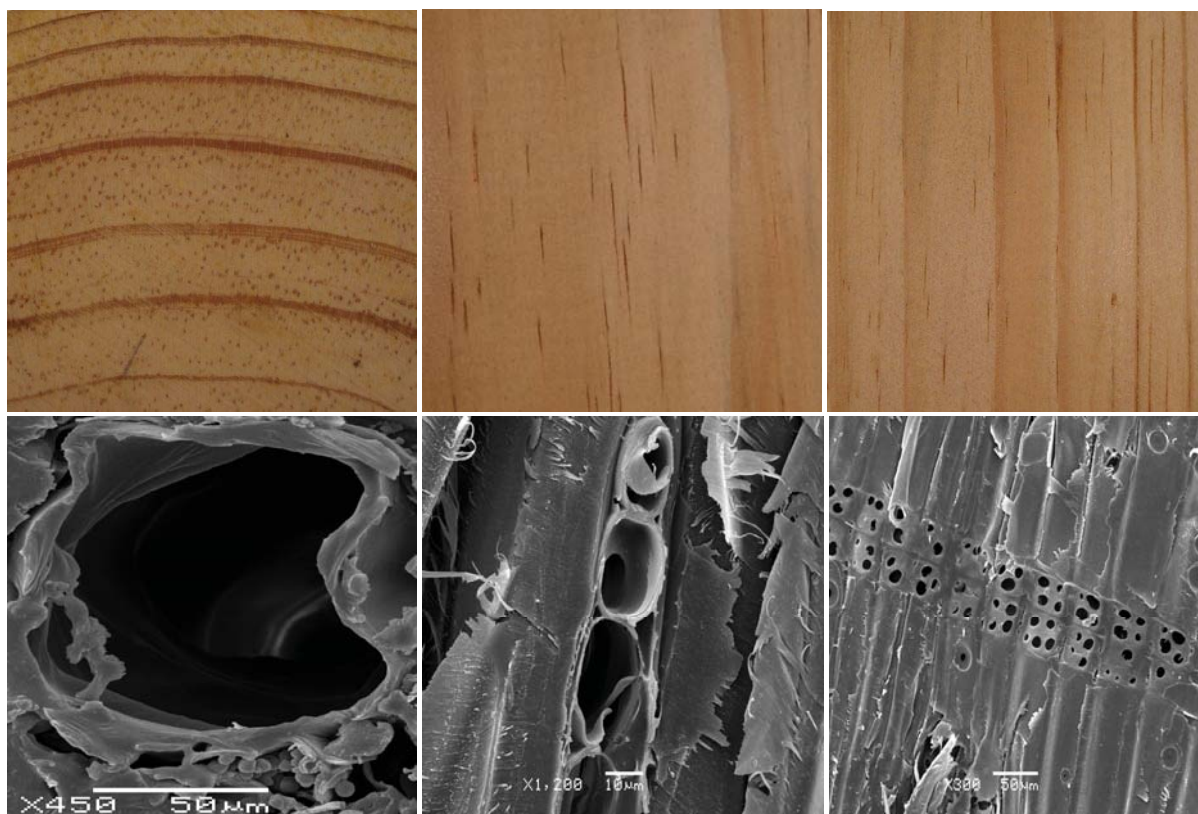


FIGURA 5.8 – FOTOS MACROSCÓPICAS E MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DA ESPÉCIE *Pinus tecunumanii*

NOTA: Planos transversal, tangencial e radial, respectivamente.

5.4.1.8 *Pinus taeda*

A madeira do *Pinus taeda* apresenta cerne e albarno indistintos, coloração amarela clara, cheiro indistinto, grã direita, brilho moderado, textura média a grossa, anéis de crescimento distintos onde o lenho inicial e o lenho tardio são bem demarcados com transição abrupta entre as células. Não foi observada a presença de falsos anéis, assim como ocorrência de madeira de compressão. Crescimento concêntrico.

Na Figura 5.9 são apresentadas as imagens macroscópicas e a microscopia eletrônica de varredura desta espécie.

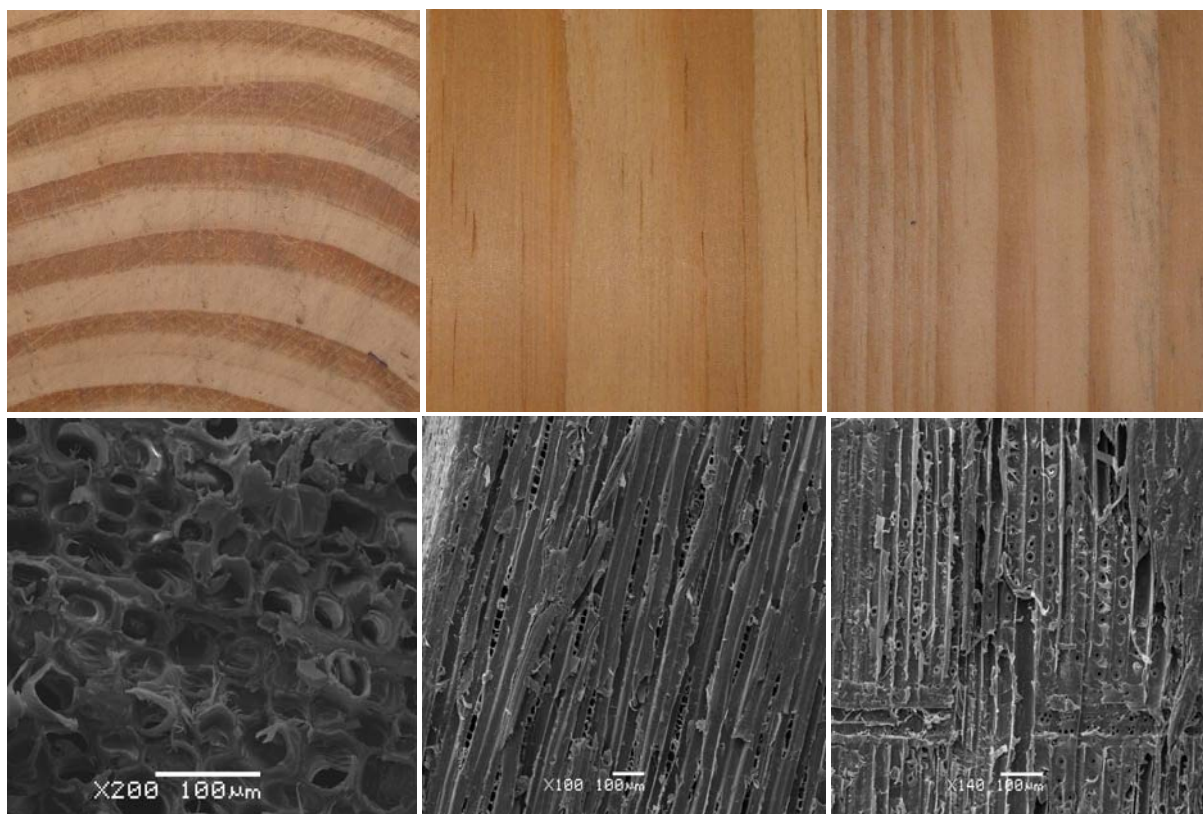


FIGURA 5.9 – FOTOS MACROSCÓPICAS E MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DA ESPÉCIE *Pinus taeda*

NOTA: Planos transversal, tangencial e radial, respectivamente.

5.4.1.9 Resumo das propriedades macroscópicas

Na Tabela 5.2 são apresentadas resumidamente as propriedades organolépticas: cheiro, textura, desenho, cor observada visualmente, brilho e grã, e descrição dos anéis de crescimento e cerne e alburno, para fim de comparação entre espécies. Nota-se, que praticamente todas as espécies apresentam características macroscópicas similares entre si, onde este fato possivelmente é explicado pelas espécies pertencerem ao mesmo gênero.

De maneira geral, estas propriedades podem exercer influência sobre os processos industriais de diversas formas. O cheiro pode comprometer usos que requerem madeiras inodoras. Já o desenho é um importante fator para se destacar a beleza da madeira quando a mesma é utilizada na movelaria.

TABELA 5.2 – PROPRIEDADES MACROSCÓPICAS DAS ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

Espécie	Anéis de Crescimento	Cerne e alburno	Cheiro	Textura	Desenho	Cor	Brilho	Grã
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	Distintos	Distintos	Distinto	Média a grossa	Normal	Amarelada	Moderado	Direita
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	Distintos	Distintos	Distinto	Média a grossa	Normal	Amarelada	Moderado	Direita
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	Distintos	Distintos	Distinto	Média a grossa	Normal	Amarelada	Moderado	Direita
<i>Pinus chiapensis</i>	Pouco distintos	Distintos	Distinto	Média a grossa	Normal	Amarelada	Moderado	Direita
<i>Pinus maximinoi</i>	Distintos	Distintos	Distinto	Média a grossa	Normal	Amarelada	Moderado	Direita
<i>Pinus oocarpa</i>	Distintos	Distintos	Distinto	Média a grossa	Normal	Amarelada	Moderado	Direita
<i>Pinus tecunumanii</i>	Distintos	Distintos	Distinto	Média	Normal	Amarelada	Moderado	Direita
<i>Pinus taeda</i>	Distintos	Indistintos	Indistinto	Média a grossa	Normal	Amarelada	Moderado	Direita

Textura média a grossa como encontrado na maioria das espécies e proveniente do marcante contraste entre as zonas de lenho inicial e tardio, podem gerar mais dificuldades durante os processos de acabamento superficial, gerando superfície mais áspera e maior consumo de produtos.

A respeito da grã, como a maioria das espécies apresentaram grã direita, possivelmente não serão encontrados problemas acentuados durante o desdobro, processamento, e excessivas deformações durante o processo de secagem. Já em relação a ocorrência de anéis distintos, alguns efeitos poderão ser observados em termos de resistência mecânica na transição do lenho inicial e tardio, bem como maior consumo de adesivos e produtos de acabamentos nas zonas de lenho inicial. Além disso, a diferenciação mais acentuada entre cerne e alburno em algumas espécies como por exemplo no *Pinus chiapensis*, *Pinus maximinoi* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, revelam que nestas espécies possivelmente a resistência natural na região do cerne será maior, assim como a maior dificuldade de impregnação de produtos preservantes, e maiores reações químicas com produtos químicos.

5.4.2 Propriedades da cor

Os parâmetros colorimétricos permitem caracterizar de maneira quantitativa e qualitativa a cor da madeira de uma determinada espécie. Desta forma, na Tabela 5.3 são apresentados os resultados médios obtidos a partir das madeiras de *Pinus* tropicais.

Os resultados médios obtidos a partir das três faces da madeira indicam que todas as espécies de *Pinus* tropicais possuem coloração amarela clara, onde os parâmetros colorimétricos L^* , a^* , b^* e h^* respondem pela formação desta cor.

A coordenada b^* (pigmentação amarela) é a principal responsável pela formação da cor, sendo este resultado corroborado pelo ângulo de tinta (h^*), que confirma a maior proximidade do eixo amarelo e de L^* e evidencia a importância desta coordenada. Os valores médios de luminosidade (L^*), superiores a 54 (56), conforme proposto por Camargos (1999) e Camargos e González (2001) indicam coloração clara (alta claridade). Por outro lado, a coordenada a^* (pigmentação

TABELA 5.3 – RESULTADOS MÉDIOS DOS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS DAS MADEIRAS DE PINUS TROPICAIS

Espécie	L*	a*	b*	C	h*
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	72,77ab (7,94)	7,41 cd (34,63)	23,90 ab (12,90)	25,11 ab (13,73)	73,03 a (6,41)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	71,95 abc (9,91)	7,59 bcd (36,40)	23,43 abcd (12,35)	24,73 ab (13,22)	72,30 ab (7,39)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	70,46 bcd (8,96)	9,26 a (36,66)	24,19 a (12,39)	26,04 a (14,12)	69,48 bcd (8,29)
<i>Pinus chiapensis</i>	69,74 cd (9,07)	9,73 a (38,41)	22,33 d (13,10)	24,62 ab (15,27)	67,03 d (9,53)
<i>Pinus maximinoi</i>	70,42 bcd (8,12)	8,91 ab (41,85)	23,81 abc (14,69)	25,60 a (16,02)	70,00 bc (9,76)
<i>Pinus oocarpa</i>	68,14 d (12,20)	9,08 ab (39,72)	22,59 bcd (16,05)	24,53 ab (16,71)	68,43 cd (10,43)
<i>Pinus tecunumanii</i>	69,04 cd (7,58)	8,48 abc (31,59)	22,43 cd (13,33)	24,10 b (13,32)	69,40 cd (8,21)
<i>Pinus taeda</i>	73,62 a (8,62)	6,52 d (38,01)	23,24 abcd (11,73)	24,23 b (12,44)	74,53 a (6,70)
<i>p</i>	0,000*	0,000*	0,000*	0,005*	0,000*

L*: Luminosidade; a*: pigmentação vermelha; b*: pigmentação amarela; C: saturação ou cromaticidade; h*: ângulo de tinta; Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna são estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade. *Significativo a 5% de probabilidade; Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras.

vermelha) se faz presente, mesmo com pequena participação, influenciando a composição desta coloração em algumas espécies mais do que em outras. Em relação a saturação ou cromaticidade (C), observa-se que as espécies apresentam-se bastante similares entre si, onde a espécie que apresentou cor mais saturada foi *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Observando todas as espécies a partir de sua coloração já definida, é possível verificar que a espécie *Pinus taeda*, é, entre as espécies estudadas, a mais clara, no entanto, não apresenta diferença estatística significativa em relação ao *Pinus caribaea* var. *bahamensis* e ao *Pinus caribaea* var. *caribaea*. Já as espécies que demonstraram ser menos clara foram o *Pinus oocarpa* e o *Pinus chiapensis*.

Em relação a pigmentação vermelha (a^*), como já mencionado, sua participação mesmo que pequena, ocorre com maior intensidade em algumas espécies, onde este resultado é explicado pela formação de cerne na região próxima a medula, indicando possivelmente a presença mais acentuada de polifenóis nesta região. Estes resultados podem ser evidenciados e melhor discutidos a partir da Tabela 5.5.

Considerando processos industriais onde se exige homogeneidade da cor, e por praticidade e fluxo produtivo, estas espécies não sejam classificadas durante o processamento das toras, torna-se necessário avaliar a introdução de produtos homogeneizadores da cor a fim de garantir grandes lotes de produção com o mesmo padrão de cor, garantindo a reprodutibilidade da peça, como por exemplo, lotes de móveis seriados.

Considerando que a face ou plano anatômico exerce considerável influência sobre a cor da madeira (GONÇALEZ *et al.*, 2005), são apresentados na Tabelas 5.4 os parâmetros colorimétricos médios obtidos em cada face, para cada espécie estudada.

TABELA 5.4 – PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS DAS MADEIRAS DE PINUS TROPICAIS OBTIDAS A PARTIR DAS FACES TRANSVERSAIS, TANGENCIAIS E RADIAIS

Espécie	Face	L*	a*	b*	C*	h*
<i>Pinus c. var. bahamensis</i>	TR	67,33 c (4,86)	7,41 ab (26,38)	21,50 b (11,81)	22,79 b (12,19)	71,12 b (5,62)
	TG	^B 73,9 b (4,82)	^A 8,32 a (32,45)	^A 26,01 a (8,95)	^A 27,38 a (10,38)	^B 72,55 b (6,16)
	RD	^A 77,40 a (6,13)	^B 6,59 b (42,40)	^B 24,52 a (10,24)	^B 25,47 a (12,27)	^A 75,44 a (6,10)
<i>Pinus c. var. caribaea</i>	TR	65,96 c (6,99)	7,67 ab (25,66)	20,91 b (9,64)	22,52 b (9,77)	69,76 b (6,62)
	TG	^B 70,75 b (7,83)	^A 8,24 a (33,09)	^A 25,07 a (9,21)	^A 26,99 a (10,71)	^B 69,87 b (6,46)
	RD	^A 75,88 a (8,05)	^B 6,77 b (47,82)	^A 24,08 a (11,11)	^A 25,35 a (13,35)	^A 74,32 a (7,43)

Continua...

Continuação...

	TR	65,53 b (6,82)	8,45 b (32,13)	21,71 b (9,15)	23,49 c (11,72)	68,49 b (7,18)
<i>Pinus c. var. hondurensis</i>	TG	^B 71,51 a (6,14)	^A 10,64 a (31,38)	^A 25,84 a (9,93)	^A 28,05 a (11,97)	^B 68,41 b (7,64)
	RD	^A 74,35 a (8,60)	^B 8,74 ab (43,56)	^A 25,08 a (10,63)	^B 26,63 b (12,71)	^A 73,11 a (8,95)
	TR	65,98 b (5,82)	8,47 a (31,92)	19,29 b (9,29)	21,15 b (12,25)	66,82 c (7,95)
<i>Pinus chiapensis</i>	TG	^A 70,91 a (7,91)	^A 10,79 a (36,11)	^A 24,38 a (8,52)	^A 26,81 a (12,34)	^A 66,81 c (9,44)
	RD	^A 72,38 a (10,08)	^A 9,96 a (42,16)	^A 23,39 a (8,19)	^A 25,64 a (12,31)	^A 67,72 c (11,18)
	TR	64,50 b (6,63)	8,25 a (48,36)	20,21 b (11,56)	22,03 b (15,72)	68,75 a (11,42)
<i>Pinus maximinoi</i>	TG	^A 72,73 a (4,14)	^A 9,76 a (33,60)	^A 25,98 a (9,62)	^A 27,89 a (10,89)	^A 69,71 a (8,23)
	RD	^A 74,03 a (5,70)	^A 8,71 a (44,07)	^A 25,24 a (9,20)	^A 26,88 a (11,83)	^A 71,53 a (9,33)
	TR	62,78 b (13,51)	8,13 a (38,70)	18,46 b (10,45)	20,34 b (12,57)	66,72 a (11,16)
<i>Pinus oocarpa</i>	TG	^A 69,69 a (9,70)	^A 9,95 a (34,96)	^A 24,31 a (7,46)	^A 26,47 a (8,23)	^A 67,99 a (10,32)
	RD	^A 71,96 a (9,62)	^A 9,15 a (44,22)	^A 25,00 a (10,26)	^A 26,80 a (13,41)	^A 70,57 a (9,44)
	TR	65,30 c (5,81)	7,40 b (24,64)	19,29 b (8,19)	20,72 b (8,73)	69,14 a (6,38)
<i>Pinus tecunumanii</i>	TG	^B 69,37 b (6,38)	^A 9,51 a (27,03)	^A 24,03 a (9,91)	^A 25,99 a (7,90)	^A 68,30 a (9,28)
	RD	^A 72,47 a (6,64)	^A 8,57 ab (36,57)	^A 24,03 a (8,05)	^A 25,65 a (9,57)	^A 70,72 a (8,62)
	TR	67,59 c (6,01)	6,72 a (36,22)	21,29 c (12,44)	22,41 c (13,36)	72,76 ab (7,10)
<i>Pinus taeda</i>	TG	^B 75,31 b (6,73)	^A 7,20 a (35,95)	^A 25,17 a (9,16)	^A 26,27 a (10,21)	^A 74,26 ab (6,30)
	RD	^A 78,45 a (5,01)	^B 5,66 a (39,65)	^B 23,46 b (6,65)	^B 24,20 b (8,12)	^A 76,69 a (5,74)
	<i>p</i>	0,008*	0,101 ^{ns}	0,000*	0,000*	0,001*

L*: Luminosidade; a*: pigmentação vermelha; b*: pigmentação amarela; C*: saturação ou cromaticidade; h*: ângulo de tinta; TR: face transversal; TG: face tangencial; RD: face radial; Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras; Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna, em fonte minúscula, normal e a direita, avaliam diferenças entre as três faces avaliadas (TR, TG e RD) na espécie e são estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade, e média seguidas de mesma letra na mesma coluna em fonte maiúscula, subscrita e a esquerda avaliam diferenças somente entre as faces tangencial e radial na espécie e são estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey a 95%.

Para as três faces avaliadas em todas as espécies, a coordenada b^* (pigmentação amarela) é a principal responsável pela formação da cor, onde os valores médios superiores a 54 em todas as faces indicam coloração clara. A coordenada a^* (pigmentação vermelha) é também responsável pela pequena diferença de cor entre as diferentes faces.

Analisando os parâmetros colorimétricos obtidos para as diferentes faces, pode-se observar que a face transversal é a face de menor luminosidade em todas as espécies estudadas, distinguindo-se estatisticamente das faces tangencial e radial.

Considerando a utilização da madeira sólida, a qual normalmente ocorre em peças radiais ou tangenciais, verifica-se que a face tangencial é mais escura (L^* menor) que a radial. Neste caso, a coordenada a^* (pigmentação vermelha) é a principal responsável pela coloração mais escura desta face, pois apresenta valor superior ao da face radial. A variável ângulo de tinta (h^*) contribui na explicação deste fato, apresentando resultado médio inferior para a face tangencial em todas as espécies. Além disso, verifica-se que exceto para o *Pinus oocarpa*, os maiores valores médios de saturação são obtidos a partir das faces tangenciais.

Em função deste resultado pode-se dizer que quando se pretende obter madeiras mais claras, considerando estas espécies, recomenda-se o desdobro da tora no sentido radial, pois os valores médios de luminosidade são maiores. Por outro lado, dependendo do layout de corte adotado nos desdobros principais e secundários, e como não se consegue somente peças radiais ou somente peças tangenciais durante o processamento de uma tora, caso o produto final exija cores homogêneas, novamente a utilização de agentes homogeneizadores deve ser investigada.

Além da influência da face sobre a cor da madeira, outro fator que exerce considerável influência é a posição de onde a peça de madeira foi retirada. Nesse sentido, na Tabela 5.5 são apresentados os valores médios dos parâmetros colorimétricos obtidos para amostras situadas próximo a medula e para amostras localizadas na região mais externa, próxima a casca.

TABELA 5.5 – PROPRIEDADES DA COR DAS ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS OBTIDAS A PARTIR DE DIFERENTES POSIÇÕES RADIAIS

Espécie	Medula					Casca				
	L*	a*	b*	C	h*	L*	a*	b*	C	h*
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	B 69,15 ab (5,10)	A 10,26 bc (16,47)	A 26,02 a (11,86)	A 28,02 ab (11,09)	B 68,39 b (5,22)	A 73,38 a (8,39)	B 5,93 ab (22,47)	B 22,35 a (11,84)	B 23,15 a (11,65)	A 75,09 a (4,08)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	B 66,05 b (9,27)	A 11,05 bc (16,47)	A 25,02 a (14,32)	A 27,40 abc (13,31)	B 66,03 bc (5,32)	A 73,63 a (9,06)	B 5,94 ab (26,88)	B 22,47 a (7,92)	B 23,38 a (7,67)	A 75,93 a (3,82)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	B 67,06 b (10,34)	A 12,83 ab (21,34)	A 25,40 a (10,28)	A 28,55 ab (10,58)	B 63,34 cd (7,38)	A 71,30 a (8,41)	B 7,09 a (27,11)	B 22,43 a (10,09)	B 23,58 a (10,51)	A 72,56 a (5,46)
<i>Pinus chiapensis</i>	B 64,20 bc (8,55)	A 13,23 a (19,91)	A 23,55 ab (10,07)	A 27,06 abc (11,47)	B 60,88 de (6,00)	A 73,89 (6,66)	B 6,05 ab (18,01)	B 20,77 a (9,84)	B 21,67 a (9,61)	A 73,55 a (3,43)
<i>Pinus maximinoi</i>	B 67,06 b (7,67)	A 13,31 a (12,09)	A 25,21 a (11,47)	A 28,56 a (9,99)	B 62,07 de (5,41)	A 72,63 a (5,46)	B 5,75 b (25,97)	B 21,67 a (14,87)	B 22,44 a (15,23)	A 75,24 a (3,21)
<i>Pinus oocarpa</i>	B 59,11 c (11,58)	A 13,58 a (15,14)	A 23,45 ab (18,51)	A 27,17 abc (11,02)	B 50,56 e (7,25)	A 72,49 a (6,25)	B 6,34 ab (19,02)	B 21,71 a (14,56)	B 22,64 a (14,34)	A 73,66 a (3,39)
<i>Pinus tecunumanii</i>	B 65,51 b (7,00)	A 11,23 bc (18,55)	B 21,77 b (12,91)	A 24,54 c (13,08)	B 62,80 cde (5,25)	A 71,34 a (6,55)	B 6,49 ab (26,73)	A 22,31 a (15,57)	B 23,18 a (15,67)	A 73,72 a (4,33)
<i>Pinus taeda</i>	B 71,87 a (10,02)	A 7,50 d (44,75)	A 24,40 a (12,43)	A 25,68 bc (13,46)	A 72,27 a (8,94)	A 72,97 a (6,96)	B 6,84 ab (21,92)	B 22,76 a (10,92)	B 23,82 a (10,99)	A 73,33 a (4,17)
<i>P</i>	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*	0,408 ^{ns}	0,007*	0,133 ^{ns}	0,102 ^{ns}	0,001*

L*: luminosidade; a*: pigmentação vermelha; b*: pigmentação amarela; C: saturação ou cromaticidade; h*: ângulo de tinta; Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras; Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna, em fonte minúscula, normal e a direita, avaliam diferenças do parâmetro entre as espécies e são estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade, e, médias seguidas de mesma letra na mesma linha, em fonte maiúscula, subscrita e a esquerda avaliam diferenças entre os respectivos parâmetros na espécie entre as posições medula e casca e são estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade; * significativo a 95% de probabilidade; ^{ns}: não significativo.

Para todas as espécies foi detectado aumento nos valores da luminosidade (L^*) no sentido medula-casca, indicando que as amostras localizadas na região externa do tronco são mais claras. Em contrapartida, são observados valores mais elevados da coordenada a^* (pigmento vermelho) na região próxima a medula, sendo este resultado explicado pela formação de cerne e deposição mais acentuada de substâncias orgânicas nesta região. Este resultado explica cores mais escuras nesta região do tronco, sendo ainda confirmadas pelo ângulo de tinta, onde são observados seus valores inferiores deste parâmetro quando comparados com o ângulo de tinta das amostras retiradas próxima a casca. Nota-se também, que as amostras situadas na região próxima à medula, apresentam para quase todas as espécies maior saturação da cor.

Analisado as diferenças de cores entre espécies, pode-se notar que para peças localizadas próximas a medula são obtidas diferentes colorações, havendo neste caso, a necessidade de aplicação de pigmentos homogeneizadores para se obter peças com cores menos discrepantes entre si, garantindo homogeneidade nos bens produzidos, caso o processo produtivo seja suprido por diferentes espécies simultaneamente. Por outro lado, para peças obtidas na região externa do tronco, não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre os parâmetros L^* , a^* , b^* , C e h^* , indicando com isso produtos mais homogêneos entre si, sem a inferência de um tratamento, reduzindo com isso custos adicionais ao processo industrial.

Embora seja indicada a possibilidade de uso de pigmentos para proporcionar homogeneidade da cor à matéria prima destinada a determinadas aplicações, por exemplo, indústria moveleira, antes de serem tomadas decisões a respeito da aplicação de pigmentos, métodos subjetivos de construção e avaliação visual dos móveis ou de outros artefatos devem ser realizados, pois talvez testes estatísticos sejam rigorosos demais, e uma pesquisa de mercado, poderia afirmar também o gosto do consumidor final.

5.4.3 Características morfológicas e relações entre as dimensões dos traqueóides

Os resultados médios das características morfológicas dos traqueóides das espécies de *Pinus* tropicais são apresentados na Tabela 5.6.

TABELA 5.6 – RESULTADOS MÉDIOS DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÓIDES DE PINUS TROPICAIS

Espécie		Comprimento	Largura	Espessura de parede
		(mm)	(μm)	(μm)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	Mín.	1,01	22,36	1,56
	Méd.	3,26 a	46,15 bc	9,19 ab
	Máx.	5,57	77,38	20,26
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	Mín.	1,16	22,56	1,08
	Méd.	3,15 abc	43,90 cd	7,19 de
	Máx.	5,81	86,00	21,53
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	Mín.	1,24	19,79	2,12
	Méd.	3,17 ab	47,04 b	8,69 bc
	Máx.	6,01	88,97	25,33
<i>Pinus chiapensis</i>	Mín.	1,47	20,44	0,51
	Méd.	2,98 bc	48,29 b	6,89 e
	Máx.	6,01	86,74	14,64
<i>Pinus maximinoi</i>	Mín.	1,25	21,56	1,46
	Méd.	3,02 abc	46,52 bc	8,88 b
	Máx.	5,94	81,74	20,87
<i>Pinus oocarpa</i>	Mín.	0,91	15,55	1,32
	Méd.	3,19 ab	50,84 a	9,80 a
	Máx.	6,53	97,37	26,79
<i>Pinus tecunumanii</i>	Mín.	1,25	21,32	3,20
	Méd.	3,22 ab	46,20 bc	8,97 b
	Máx.	6,47	76,70	19,06
<i>Pinus taeda</i>	Mín.	1,12	19,75	1,48
	Méd.	2,90 c	42,46 d	7,89 cd
	Máx.	5,11	68,84	17,90
<i>p</i>		0,000*	0,000*	0,000*

Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna são estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade; * significativo a 95% de probabilidade; Mín: Mínimo; Méd.: Média; Máx.: Máximo.

Pode-se verificar a partir desta tabela, que entre as espécies de *Pinus* tropicais, o *Pinus caribaea* var. *bahamensis* apresentou o maior comprimento de traqueóides com valor médio de 3,26 mm. Em contrapartida, o *Pinus chiapensis*, apresentou o menor comprimento médio, com 2,98 mm, sendo a única espécie de *Pinus* tropicais a apresentar diferença estatística significativa em relação ao *Pinus caribaea* var. *bahamensis*. Para esta variável não foi observado espécie com comprimento de traqueóide inferior a espécie utilizada como testemunha.

O menor comprimento médio apresentado pelo *Pinus chiapensis* entre as espécies de *Pinus* tropicais, pode estar associado ao elevado ritmo de crescimento desta espécie, a qual apresentou os maiores crescimento em diâmetro e altura, conforme descrito no Capítulo 4. De acordo com Panshin e De Zeew, (1980), Shimoyama (2005) e Castelo (2007), o comprimento dos traqueóides é influenciado pelas divisões longitudinais-tangenciais que ocorrem no câmbio, onde um elevado crescimento, proporcionado por condições ótimas, indica grandes taxas de hormônios, as quais induzem às células à rápidas divisões, gerando elementos celulares mais curtos. Em relação à influência do comprimento dos traqueóides nas propriedades do papel, elementos celulares com menor comprimento tendem a reduzir a resistência à tração e ao arrebentamento.

Já a elevada variação encontrada para o comprimento dos traqueóides é justificada pela amostragem em diferentes posições radiais e longitudinais, onde Larson, Nichols e Dadswell (2001), afirmam que estes elementos celulares são totalmente influenciados pela posição no fuste, assim como pela idade, densidade do povoamento, sítio, localização geográfica e práticas silviculturais, além de ser considerado também um fator genético.

Em relação à largura ou diâmetro dos traqueóides, o maior valor médio foi encontrado a partir do *Pinus oocarpa*, com largura média de 50,84 μm , onde esta espécie apresenta diferença estatística significativa em relação a todas as demais. Entre as espécies de *Pinus* tropicais, a menor largura média foi obtida a partir do *Pinus caribaea* var. *caribaea* cujo valor médio foi 43,90 μm . Para esta variável também não foi encontrada espécie de *Pinus* tropicais com valor médio inferior ao apresentado pelo *Pinus taeda*.

A variável largura também está associada a taxa de crescimento das árvores, onde períodos de elevado crescimento proporcionam elementos celulares

acentuadamente mais largos e com grandes diâmetros de lume. Embora o *Pinus oocarpa* tenha apresentado a maior largura de traqueóide, não foi a espécie que apresentou o maior diâmetro de lume (diferença entre diâmetro do traqueóide e espessura de parede celular), sendo neste caso, o maior diâmetro de lume evidenciado no *Pinus chiapensis*.

Em relação a espessura de parede celular, pode-se verificar que o *Pinus oocarpa* apresentou o maior valor médio (9,80 μm), sendo este resultado estatisticamente superior à todas as demais espécies, exceto ao *Pinus caribaea* var. *bahamensis*. Já a menor espessura foi apresentada pelo *Pinus chiapensis*, com valor médio de 6,89 μm , onde esta espécie foi a única a apresentar resultado médio estatisticamente inferior à testemunha.

A menor espessura de parede apresentada pelo *Pinus chiapensis* pode também estar associada ao elevado ritmo de crescimento, no entanto, acredita-se que nesta espécie a espessura pode ser explicada principalmente por questões relativas à características da própria espécie.

A espessura de parede celular apresenta correlação positiva com o rendimento em pasta celulósica, no entanto, fibras muito espessas são mais rígidas e tendem a manter a sua forma original (tubular) não apresentando bom colapso durante a formação do papel, o que pode prejudicar a união entre as células e com isso, reduzir a resistência à tração e ao estouro, além de alta opacidade (FOELKEL; BARRICHELLO, 1975). Por outro lado, Watson e Dadswell (1961) e Foelkel (1976) afirmam que o acréscimo da espessura de parede das células contribui para o aumento da resistência ao rasgo.

Comparando os valores encontrados neste trabalho com resultados obtidos por outros pesquisadores para estas mesmas espécies, verifica-se que Florsheim (2010) avaliando a qualidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* a partir de plantios de diferentes idades provenientes da região de Manduri - SP, obteve comprimento médio de 3,42 mm a 3,72 mm, largura média de 48 μm a 55 μm e espessura de parede de 8,50 μm a 10,00 μm para material avaliado entre o 3° e 15° anel de crescimento. Nota-se, que os valores médios encontrados por esta autora são compatíveis com o comprimento médio de 3,26 mm, largura média de 46,15 μm e espessura de parede de 9,19 μm , obtidos no presente trabalho. Os valores obtidos neste trabalho podem ainda, ser considerados similares aos valores apresentados

por Palmer e Gibbs (1970)⁹ citados por Plumptre (1984), a partir de povoamentos naturais com idade de 30 a 50 anos, os quais obtiveram comprimento médio de 2,70 mm, largura de 41,00 µm e espessura de parede de 7,50 µm.

Para a espécie *Pinus caribaea* var. *caribaea*, a literatura apresenta comprimento médio de traqueóides de 3,11 mm a 3,60 mm, diâmetro de 44,70 µm a 52,00 µm e espessura de parede de 5,04 µm a 6,74 µm (PALMER; GIBBS, 1975¹⁰, citados por PLUMPTRE, 1984), onde estes valores são também similares aos apresentados na Tabela 5.6 para a referida espécie.

Em relação ao *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, Barrichelo e Brito (1979) relatam comprimento no intervalo de 2,40 mm a 5,10 mm, largura de 37,30 µm a 50,10 µm e espessura de parede entre 6,10 µm a 13,40 µm a partir de indivíduos de 16 anos. Comparando com os resultados encontrados neste trabalho, nota-se que o intervalo de variação do comprimento foi bastante semelhante (1,24 mm a 6,01 mm), no entanto, a largura (19,70 µm a 88,97 µm) e a espessura de parede (2,12 µm a 25,33 µm) apresentaram uma faixa de variação muito mais ampla. Ainda para esta mesma espécie, Montagna *et al.* (1983) avaliando árvores com 17 anos provenientes de Mogi-Mirim – SP, obtiveram comprimento médio de 3,95 mm, largura de 59,05 µm e espessura de parede de 7,00 µm e Sansígolo e Barreiros (2004) em estudo da qualidade da madeira desta espécie para a produção de celulose Kraft, encontraram a partir de árvores de 21 anos, comprimento médio de 2,88 mm, largura de 47,29 µm e espessura de parede de 5,88 µm. Comparando os resultados obtidos a partir destas duas pesquisas com o resultado médio apresentado na Tabela 5.6, nota-se que os valores, mesmo com as diferenças encontradas são compatíveis entre si.

Em referência aos resultados encontrados na literatura para o *Pinus chiapensis*, Malan (2001) descreve comprimento médio entre 2,36 mm e 5,12 mm para plantios localizados na África do Sul, onde pode-se verificar maior comprimento médio no extremo superior, o qual pode estar associado à menor taxa de crescimento das árvores localizadas nesta região. Um menor ritmo de crescimento

⁹ PALMER, E.R.; GIBBS, J.A. The pulping characteristics of nine years old *Pinus caribaea* from Sabah. **Report**, Tropical Products Institute, n.25, 1975. 37 p.

¹⁰ PALMER, E.R.; GIBBS, J.A. The pulping characteristics of two samples of *Pinus caribaea* var. *caribaea* from Cuba. **Report**, Tropical Products Institute, n.41, 1975, 25 p

indica que os meristemas promovem divisões longitudinais-tangenciais mais lentas, onde os elementos celulares atingem seu crescimento potencial.

Para o *Pinus maximinoi*, Klock (2000) menciona a partir de plantio localizado em Ventania – PR, comprimento médio de 3,22 mm (1,26 mm a 6,60 mm), largura média de 43,60 μm (15,00 μm a 80,00 μm) e espessura de parede de 6,65 μm (1,25 μm a 18,75 μm). Em comparação com os resultados apresentados na Tabela 5.6, verifica-se que os valores são bastante similares, e como as árvores utilizadas em ambos os estudos são provenientes do mesmo plantio, nota-se que a diferença de idade (8 anos) promoveu um aumento na espessura de parede celular.

Wright e Malan (1991) avaliando árvores de 10,50 anos de *Pinus maximinoi* para produção de polpa celulósica na África do Sul, obtiveram espessura média de parede de 7,16 μm , onde este valor é ligeiramente inferior ao valor de 8,88 μm encontrado nesta pesquisa. Esta pequena diferença pode estar associada a diferença de idade (aproximadamente 7 anos), onde segundo Cown (1980) a espessura de parede celular é afetada por este fator, onde o meristema cambial mais velho, produz também, células com características adultas, apresentando maior espessura de parede.

Em relação às características dos traqueóides do *Pinus oocarpa*, Foelkel *et al.* (1975a) apresentam comprimento de 2,96 mm, 3,63 mm e 3,80 mm, largura de 42,77 μm , 47,86 μm e 49,06 μm e espessura de parede de 5,71 μm , 7,82 μm e 9,02 μm a partir de plantios com 9, 12 e 13 anos localizados em Agudos - SP. Já Klock (1989) obteve comprimento médio entre 1,98 mm a 4,50 mm e espessura de parede entre 3,53 μm e 9,84 μm para diferentes posições radiais (2, 5, 8, 11, 14 e 17 anéis de crescimento), também a partir de árvores localizadas em Agudos – SP. Verifica-se que os valores médios encontrados no presente trabalho de 3,19 mm, 50,84 μm e 9,80 μm , para comprimento, largura e espessura, respectivamente, a partir de plantios de 18 anos são bastante similares aos relatados por estes dois pesquisadores.

Sampaio (1996) analisando o comportamento de progênies e procedências desta espécie com 9 anos de idade, em Angatuba - SP, encontrou comprimento médio de 3,20 mm, largura de 53,10 μm e espessura de parede de 8,20 μm e Sansígolo e Barreiros (2004) avaliando a qualidade da madeira para a produção de celulose obtiveram para plantios de 20 anos, comprimento médio de 2,91 mm,

largura de 46,35 μm e espessura de parede 5,77 μm . Nota-se, em relação ao trabalho conduzido por Sampaio (1996) que embora haja uma diferença de idade, os valores médios são compatíveis e em relação aos resultados mencionados por Sansígolo e Barreiros (2004), foi constatada uma maior diferença de valores apenas para a variável espessura de parede.

Para a espécie *Pinus tecunumanii*, os resultados encontrados na literatura são comprimento médio de 4,56 mm, diâmetro de 54,80 μm e espessura de parede de 10,00 μm , a partir de plantio de 12 anos localizado em Anhembi -SP (SHIMOYAMA; WIECHETECK, 1993), comprimento de 3,96 mm, diâmetro de 51,93 μm e espessura de parede de 9,48 μm , a partir de plantio também de 12 anos, no entanto, localizado na Colômbia (TORRES; MELO; COLODETTE, 2005) e comprimento de 3,35 mm a 3,78 mm, diâmetro de 52,00 μm a 56,00 μm e espessura de parede de 7,86 μm a 12,13 μm a partir de plantio de 19 anos, no entanto, situado em Planaltina – DF (SOUZA *et al.*, 2005). Comparando os resultados obtidos nas duas primeiras pesquisas com os valores médios apresentados na Tabela 5.6 para a espécie em questão, nota-se que os valores encontrados no presente trabalho são ligeiramente inferiores, onde estas diferenças podem estar associadas à procedência e condições do sítio de crescimento. Em comparação com o estudo conduzido por Souza *et al.* (2005), obteve-se neste trabalho comprimento e largura ligeiramente inferiores, no entanto, a variável espessura de parede apresentou-se dentro do intervalo médio apresentados por tais autores.

Em relação ao *Pinus taeda*, diversos estudos foram realizados avaliando as características dos traqueóides, onde são mencionados valores de 3,39 mm a 4,52 mm para comprimento médio, 38,00 μm a 48,50 μm para largura média e 4,80 μm a 11,10 μm para espessura de parede a partir de plantio de 25 anos localizado em Alfredo Wagner – SC (HASSEGAWA, 2003); 3,80 mm para comprimento, 32,30 μm para largura e 7,50 μm para espessura de parede a partir de plantios de 28 anos de idade provenientes de Sengés – PR (SHIMOYAMA, 2005); comprimento médio de 3,20 mm a 3,48 mm, largura média no intervalo de 37,22 μm a 40,42 μm e espessura de parede de 5,90 μm a 6,67 μm a partir de plantios com idade entre 10 a 18 anos localizados em Três Barras - SC (NISGOSKI, 2005); comprimento na faixa de 2,22 mm a 2,78 mm e largura de 36,60 μm a 38,51 μm , a partir de árvores com

idade de 8, 14 e 20 anos localizadas em Telêmaco Borba - PR (ANDRADE, 2006). Sousa *et al.* (2007) obtiveram comprimento entre 2,55 mm a 3,50 mm, largura entre 51,90 μm a 53,14 μm e espessura de parede de 7,65 μm a 10,70 μm para plantios com idades de 9, 13 e 20 anos localizados em Sengés – PR, e Castelo (2007) encontrou comprimento médio de 3,02 mm a 3,03 mm, largura média de 50,96 μm a 53,76 μm e espessura média de 8,27 μm a 9,33 μm para plantios de 14, 16 e 20 anos instalados em diferentes sítios de crescimento em Piraí do Sul – PR, assim como comprimento médio entre 3,26 mm a 3,48 mm, largura média de 38,43 μm a 59,71 μm e espessura média de 6,78 μm a 11,26 μm para plantio de 21 anos em Três Barras- SC, sob o efeito de diferentes espaçamentos.

Comparando os resultados apresentados por estes pesquisadores com os valores médios apresentados na Tabela 5.6 para a espécie, verifica-se que os valores são compatíveis entre si, e as diferenças encontradas estão associadas a diferentes idades, procedências, localização geográfica e sítio de crescimento.

Como já apresentado, a avaliação das propriedades das fibras pode ser efetuada a partir de suas características brutas, no entanto, quando são estabelecidas relações entre suas dimensões são geradas informações mais precisas, as quais se relacionam com a qualidade da madeira e de seus produtos, principalmente na área de celulose e papel. Foelkel *et al.* (1975a), Foelkel (1976), Barrichelo (1979), Klock (2000), Hasegawa (2003) e Shimoyama (2005), complementam esta informação relatando que na produção de celulose e papel as dimensões das fibras ou traqueóides exercem influência direta nas variáveis do processo, principalmente no grau de refino, na qualidade da pasta e consequentemente nas propriedades físico-mecânicas do papel.

Desta forma, na Tabela 5.7 são apresentados os valores médios do Índice de Runkel, Fração Parede, Coeficiente de Flexibilidade e Índice de Enfeltramento obtidos para as espécies de *Pinus* tropicais.

TABELA 5.7 – RESULTADOS MÉDIOS DAS RELAÇÕES ENTRE AS DIMENSÕES DOS TRAQUEÓIDES DE PINUS TROPICAIS

Espécie	IR¹	FP² (%)	CF³ (%)	IE⁴
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	0,70 ab (42,05)	39,84 a (24,80)	60,16 d (16,41)	126,34 a (44,88)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	0,54 c (52,26)	33,02 c (34,17)	66,98 b (16,85)	114,13 b (39,09)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	0,64 b (44,88)	37,04 ab (28,63)	62,96 cd (16,84)	112,40 b (36,69)
<i>Pinus chiapensis</i>	0,44 d (54,74)	28,57 d (39,39)	71,43 a (15,75)	61,99 c (28,19)
<i>Pinus maximinoi</i>	0,68 ab (42,66)	38,65 ab (26,11)	61,35 cd (16,45)	109,02 b (29,96)
<i>Pinus oocarpa</i>	0,71 a (55,69)	38,66 ab (34,88)	61,34 cd (21,98)	110,87 b (43,02)
<i>Pinus tecunumanii</i>	0,68 ab (44,41)	38,85 ab (25,87)	61,15 cd (16,43)	118,13 ab (38,04)
<i>Pinus taeda</i>	0,63 b (45,58)	36,82 b (29,91)	63,18 c (17,42)	114,76 b (37,03)

¹ Índice de Runkel; ² Fração Parede; ³ Coeficiente de Flexibilidade; ⁴ Índice de Enfeltramento; Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna são estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade; Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras.

Os valores médios do Índice de Runkel das espécies de *Pinus* tropicais variaram no intervalo de 0,44 a 0,71, onde o maior e menor valor médio foi apresentado pelo *Pinus oocarpa* e pelo *Pinus chiapensis*, respectivamente. Observa-se também, que exceto o *Pinus chiapensis*, todas as demais espécies apresentaram valores próximos a espécie testemunha e tradicionalmente utilizada nos processos de produção de celulose e papel.

O Índice de Runkel indica a aptidão da madeira para a fabricação de papel, onde valores inferiores a 1 são desejados (FOELKEL; BARRICHELO, 1975). Observando os resultados apresentados na Tabela 5.7 para este índice, nota-se que todas as espécies apresentam qualificação para esta finalidade.

Em uma análise mais detalhada, de acordo com a classificação apresentada na Tabela 5.1 situada na Revisão de Literatura deste capítulo, nenhuma das

espécies apresentou índice de Runkel \leq a 0,25, o que indica traqueóides muito flexíveis com excelente capacidade de acomodação e condição ótima para a fabricação de papel.

O *Pinus chiapensis*, segundo esta mesma classificação, apresentou Índice de Runkel de 0,44, o qual enquadra-se no intervalo de 0,25 a 0,50 e com isso indica que mesmo apresentando traqueóides menos flexíveis em relação a classificação anterior (\leq a 0,25), fornece bons resultados para a fabricação de papel.

Todas as demais espécies enquadram-se no terceiro grupo (0,50 a 1,00), onde são caracterizadas como madeiras que possuem traqueóides menos flexíveis em relação aos grupos anteriores, apresentando com isso, características mecânicas mais modestas.

A Fração Parede das espécies estudadas apresentou intervalo de variação de 28,57% a 39,84%, onde o maior resultado médio foi apresentado pelo *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, e em contrapartida, a menor fração foi obtida a partir do *Pinus chiapensis*. Em relação à espécie testemunha, observa-se também que todas as espécies apresentaram valores similares ao *Pinus taeda*.

Conforme relatado por Foelkel e Barrichello (1975), a fração parede indica a rigidez das fibras, a interligação e suas relações com a resistência ao rasgo, tração e arrebatamento. Segundo estes autores, quando a fração parede do material fibroso é superior a 40%, este não fornecerá celulose de qualidade satisfatória, pois os traqueóides se apresentarão extremamente rígidos, pouco flexíveis e haverá dificuldade de interligação, gerando papel com resistência a tração e ao arrebatamento inferiores, no entanto, proporcionará papel com maior resistência ao rasgo. Além disso, Silva Junior, Valle e Muner (1996) relatam que espécies que possuem fibras ou traqueóides com fração parede elevada originam papéis com alto volume específico, pois quando estes elementos são comprimidos durante a formação do papel, seu grau de colapso é menor apresentando tendência de formação de fitas.

Considerando estas características, verifica-se que todas as espécies apresentaram fração parede inferior a 40%, indicando obtenção de papel com qualidade satisfatória quanto interligação dos traqueóides, bom colapso e resistência à tração e ao arrebatamento elevada.

Em relação ao Coeficiente de Flexibilidade, verifica-se que os valores médios variaram na faixa de 60,16% a 71,43%, sendo estes extremos apresentados pelas espécies *Pinus caribaea* var. *bahamensis* e *Pinus chiapensis*, respectivamente.

O Coeficiente de Flexibilidade segundo Foelkel e Barrichello (1975), diz respeito a flexibilidade dos elementos celulares, onde quanto maior for o seu coeficiente, maior é a união entre fibras ou traqueóides, o que aumenta a resistência a tração e ao arrebentamento.

Observando os resultados apresentados na Tabela 5.7 e comparando com a classificação proposta na Tabela 5.1, verifica-se que todas as espécies apresentaram coeficiente de flexibilidade entre 50% e 75%, o que indica que os traqueóides possuem colapso parcial, boa superfície de contato e boa união entre os elementos, favorecendo com isso, a resistência a tração e ao arrebentamento.

Para a variável Índice de Enfeltramento, foram observados valores de 61,99 a 126,34, onde o menor e maior resultado médio foram obtidos a partir das espécies *Pinus chiapensis* e *Pinus caribaea* var. *bahamensis*.

O Índice de Enfeltramento indica, assim como o coeficiente de flexibilidade, o quão flexíveis são os elementos celulares e sua capacidade de entrelaçamento (FOLEKEL, 1976, KLOCK, 2000; HASSEGAWA, 2003; CASTELO, 2007). Assim, é desejado elevado coeficiente, o qual irá resultar em papel com maior resistência ao rasgo (SHIMOYAMA; WIECHETECK, 1993) e ao estouro (WATSON; DADSWELL, 1961).

Desta forma e em virtude dos resultados obtidos e apresentados na Tabela 5.7, é de se esperar que exceto o *Pinus chiapensis*, todas as demais espécies apresentem boa capacidade de entrelaçamento e conseqüentemente boa resistência ao rasgo.

Nota-se de uma maneira geral, que os valores encontrados no presente trabalho, são compatíveis com a literatura, e que as diferenças encontradas para a mesma espécie são justificadas pela variação nas dimensões brutas dos traqueóides, originadas pelas diferentes idades, procedências, localização geográfica, sítio de crescimento, entre outros fatores.

5.4.3.1 Efeito da posição longitudinal sobre as características dos traqueóides

Na Tabela 5.8 são apresentados os resultados médios das dimensões dos traqueóides obtidos a partir das diferentes posições ao longo do fuste.

Segundo Mendonça (1982) o comportamento do comprimento dos traqueóides ao longo do fuste nas espécies de *Pinus* apresenta uma tendência de aumento dos traqueóides até a metade do fuste, e a partir desta região um decréscimo até a copa. Este comportamento é explicado pela elevada concentração de auxinas nas regiões próximas a copa, as quais induzem os meristemas apicais a acelerar as divisões das células antes de atingirem seu crescimento potencial.

Desta forma, nota-se a partir da Tabela 5.8, que o comportamento acima mencionado foi evidenciado claramente nas espécies *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, *Pinus maximinoi* e *Pinus tecunumanii*. Já as demais espécies apresentaram uma variação de comprimento sem um padrão bem definido, aumentando até 75% da altura comercial e depois reduzindo, aumentando até 50% e permanecendo estável até 100% da altura comercial, ou ainda apresentando traqueóides relativamente curtos em uma dada altura (25% ou 50%). Possivelmente esta falta de padrão de variação está associada a amostragem, onde recomenda-se, para obter resultados conclusivos a respeito desta característica, aumentar a amostragem.

Em referência ao comportamento da largura média dos traqueóides ao longo do fuste, também não foi observado um padrão de variação totalmente definido, no entanto, mesmo havendo diferença estatística significativa entre as diferentes posições na espécie, os valores se apresentaram bastante similares entre si.

Para a variável espessura de parede celular, assim como para a largura, e, comprimento de traqueóides de algumas espécies, também não foi verificado um padrão de variação totalmente regular ao longo do fuste.

TABELA 5.8 – RESULTADOS MÉDIOS DAS DIMENSÕES DOS TRAQUEÓIDES DE PINUS TROPICAIS NO SENTIDO LONGITUDINAL

Espécie		Comprimento (mm)					Largura (µm)					Espessura de parede celular (µm)				
		0%	25%	50%	75%	100%	0%	25%	50%	75%	100%	0%	25%	50%	75%	100%
<i>P. c. bahamensis</i>	Min.	1,77	1,01	1,71	1,81	1,47	22,92	27,61	22,36	29,68	32,48	2,00	4,889	3,46	3,19	1,56
	Méd.	3,17 b	3,19 b	4,12 a	3,30 b	3,28 b	43,78 ab	47,82 a	49,79 a	41,79 b	44,37 ab	9,14 abc	9,53 ab	10,92 ab	7,93 cd	7,61 d
	Máx.	4,73	5,75	5,45	5,02	4,34	70,15	75,35	77,38	57,50	58,96	18,15	19,61	20,26	13,11	12,13
<i>P. c. caribaea</i>	Min.	2,57	1,16	2,01	1,99	2,27	25,00	20,25	22,56	31,62	29,73	3,59	1,26	1,68	1,78	1,08
	Méd.	3,55 ab	2,98 c	3,69 a	3,55 ab	3,04 bc	46,94 a	44,76 a	42,99 a	46,96 a	40,36 a	8,34 a	7,47 a	7,23 a	6,93 a	4,78 b
	Máx.	5,37	5,81	5,22	4,99	4,01	86,00	79,52	72,68	73,63	52,41	21,53	13,80	16,40	12,58	12,09
<i>P. c. hondurensis</i>	Min.	1,44	1,24	1,46	1,30	1,64	34,57	19,79	31,43	37,06	28,15	2,64	4,24	2,78	2,12	3,66
	Méd.	3,00 b	3,28 ab	2,69 b	3,66 a	3,06 ab	52,66 a	48,72 a	41,98 b	48,77 a	41,33 b	10,29 a	9,42 a	7,67 ab	7,29 b	7,93 ab
	Máx.	5,34	5,38	4,93	6,01	4,27	88,97	67,67	63,20	60,95	61,93	25,33	15,54	14,36	14,83	15,23
<i>P. chiapensis</i>	Min.	1,48	1,47	1,64	1,92	2,16	28,82	34,39	20,44	30,14	31,64	1,62	0,81	1,45	0,53	0,51
	Méd.	2,22c	3,35 a	2,82 bc	2,87ab	2,96 ab	42,98 b	52,89 a	45,07 b	49,32 ab	45,45 b	5,79 b	7,34 a	6,10 ab	7,00 ab	7,06 ab
	Máx.	3,83	6,01	5,31	4,28	4,55	57,28	86,74	74,90	75,16	70,97	10,69	14,39	12,54	11,86	14,64
<i>P. maximinoi</i>	Min.	1,52	1,25	2,16	1,96	2,34	32,10	24,35	31,64	21,56	28,42	1,46	3,33	2,47	3,67	4,26
	Méd.	2,32 c	2,91 b	3,59 a	3,49 a	3,14 ab	48,51 ab	45,14 bc	51,97 a	51,03 a	40,84 c	8,36 ab	8,87 ab	9,34 ab	10,01 a	7,78b
	Máx.	3,30	5,94	5,75	5,26	4,71	71,78	81,74	78,64	76,35	56,12	15,96	15,65	15,43	20,87	13,75
<i>P. oocarpa</i>	Min.	1,07	0,91	1,58	1,68	1,47	29,73	25,18	23,22	15,55	22,26	1,32	1,94	2,18	2,56	2,75
	Méd.	2,88 b	3,21 a	3,14 ab	3,39 a	3,12 a	51,09 ab	52,32 a	49,03 b	50,07 ab	44,22 c	8,01 b	10,02 a	9,88 a	10,66 a	9,38 a
	Máx.	5,09	6,53	5,25	5,49	5,51	85,62	97,37	81,23	79,11	82,82	21,55	26,79	22,50	21,41	21,63
<i>P. tecunumanii</i>	Min.	1,44	1,25	1,93	1,79	1,60	28,86	22,22	24,72	21,32	24,38	3,80	3,45	3,73	3,20	3,35
	Méd.	2,63 b	3,46 a	3,20 ab	3,10 ab	2,75 b	41,22 b	47,64 a	47,96 a	42,82 ab	45,71 ab	7,66 b	9,56 a	9,22 ab	7,60 b	8,55 ab
	Máx.	4,52	6,47	5,21	4,86	4,06	54,80	76,70	69,86	66,85	72,63	13,65	19,06	16,25	13,08	13,88
<i>P. taeda</i>	Min.	1,47	1,12	1,92	1,92	1,91	22,70	19,75	23,06	26,39	27,61	1,54	1,48	1,77	1,61	2,24
	Méd.	2,88 a	2,88 a	2,90 a	3,16 a	2,93 a	36,32 b	44,80 a	39,76 b	39,63 b	41,81 ab	6,03 b	8,39 a	7,62 ab	7,35 ab	7,64 ab
	Máx.	4,50	5,11	4,17	4,17	3,86	48,71	68,84	53,32	62,17	55,83	11,24	17,90	12,92	13,31	13,51

Médias seguidas da mesma letra na mesma linha não indicam diferenças da característica na espécie em sentido longitudinal e são estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade.

Resultado similar a este, foi obtido também por Souza *et al.* (2005), onde tais autores avaliando os parâmetros anatômicos de procedências de *Pinus tecunumanii* e *Pinus caribaea* com 19 anos localizados em Planaltina – DF, também não verificaram um padrão de variação definido para o comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura de parede, em diferentes posições ao longo da altura comercial.

Na Tabela 5.9 são apresentados os resultados médios das relações entre as dimensões dos traqueóides para as diferentes espécies e nas diferentes posições ao longo do fuste.

Em relação aos valores médios apresentados, nota-se que não existe um padrão de variação definido ao longo do fuste, sendo este resultado justificado pela variação também não definida, das dimensões dos traqueóides.

Por outro lado, mesmo com estes resultados inconclusivos a respeito da variação dos elementos anatômicos no sentido longitudinal, pode-se dizer que caso as florestas plantadas de *Pinus* tropicais sejam florestas destinadas a usos múltiplos, onde as toras localizadas próximas a base sejam destinadas a produtos de maior valor agregado como laminação e madeira serrada, e as toras de menores diâmetros situadas a partir de 50% da altura comercial sejam destinadas a produção de celulose, pode-se afirmar que todas as espécies apresentam toras entre 50% a 100% da altura comercial, com qualidade adequada produção de polpa celulósica e papel.

TABELA 5.9 – RESULTADOS MÉDIOS DAS RELAÇÕES ENTRE AS DIMENSÕES DOS TRAQUEÓIDES DE PINUS TROPICAIS NO SENTIDO LONGITUDINAL

Espécie	Índice de Runkel					Fração Parede (%)				
	0%	25%	50%	75%	100%	0%	25%	50%	75%	100%
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	0,74 ab (43,26)	0,72 ab (40,33)	0,82 a (43,39)	0,66 ab (41,90)	0,58 b (51,68)	40,65 ab (26,97)	40,31 ab (21,84)	43,14 a (25,42)	38,19 ab (26,28)	34,35 b (38,42)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	0,60 a (51,25)	0,57 a (48,28)	0,53 ab (52,80)	0,47 ab (56,34)	0,36 b (57,90)	35,50 a (30,47)	34,41 a (30,52)	32,63 a (33,69)	29,91 ab (37,49)	23,69 b (57,87)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	0,72 a (51,49)	0,67 a (26,53)	0,62 ab (47,26)	0,46 b (51,05)	0,67 a (38,80)	39,23 a (32,20)	38,60 a (15,79)	36,62 a (28,78)	29,82 b (36,40)	38,51 a (25,58)
<i>Pinus chiapensis</i>	0,41 b (56,18)	0,42 b (56,44)	0,40 b (50,07)	0,43 ab (53,45)	0,41 b (56,18)	27,33 b (38,43)	27,56 b (41,51)	27,08 b (36,75)	28,21 ab (40,95)	33,92 a (33,77)
<i>Pinus maximinoid</i>	0,58 a (44,49)	0,71 a (44,32)	0,63 a (39,01)	0,68 a (42,75)	0,63 a (41,05)	34,71 b (34,59)	40,08 a (24,19)	36,67 ab (29,84)	38,91 ab (26,44)	37,90 ab (19,69)
<i>Pinus oocarpa</i>	0,53 c (58,56)	0,70 b (54,03)	0,76 ab (50,41)	0,86 a (55,74)	0,81 a (51,11)	31,42 c (47,33)	38,34 b (33,94)	40,57 ab (29,29)	42,75 a (33,36)	42,01 a (30,59)
<i>Pinus tecunumanii</i>	0,64 a (49,18)	0,72 a (45,15)	0,68 a (42,40)	0,59 a (35,89)	0,65 a (40,57)	37,20 a (28,36)	39,97 a (25,68)	39,01 a (25,20)	35,98 a (25,33)	37,98 a (24,39)
<i>Pinus taeda</i>	0,55 a (51,06)	0,63 a (46,64)	0,69 a (52,45)	0,63 a (42,43)	0,62 a (46,05)	33,52 a (35,44)	36,47 a (32,03)	38,24 a (32,55)	36,97 a (28,04)	36,70 a (27,75)

Espécie	Coeficiente de Flexibilidade (%)					Índice de Enfeltramento				
	0%	25%	50%	75%	100%	0%	25%	50%	75%	100%
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	59,35 bc (18,47)	59,69 bc (14,75)	56,86 c (19,28)	61,81 ab (16,24)	65,65 a (20,10)	130,83 abc (32,74)	118,16 c (40,84)	159,68 a (37,77)	149,09 ab (58,32)	119,14 bc (21,64)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	64,44 b (16,81)	65,59 b (16,01)	67,37 b (16,32)	70,09 ab (15,99)	76,31 a (17,96)	128,81 ab (37,14)	108,34 b (41,51)	136,36 a (35,32)	116,27 ab (31,69)	105,33 b (33,24)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	60,77 a (20,78)	61,40 b (9,92)	63,38 b (16,62)	70,18 a (15,46)	61,50 b (9,85)	100,41 b (35,25)	114,55 ab (31,79)	107,93 ab (42,92)	107,86 ab (33,31)	125,23 a (37,25)
<i>Pinus chiapensis</i>	72,67 a (14,46)	72,44 a (15,89)	72,92 a (13,70)	71,79 ab (16,09)	66,08 b (16,74)	52,35 c (23,91)	63,00 ab (31,49)	62,00 abc (24,76)	59,90 bc (26,78)	71,42 a (20,21)
<i>Pinus maximinoid</i>	65,29 a (18,40)	59,92 b (16,18)	63,33 ab (17,28)	61,09 ab (16,85)	62,10 ab (12,01)	76,90 c (26,92)	108,26 b (26,27)	113,51 ab (31,81)	121,09 ab (33,29)	127,60 a (19,66)
<i>Pinus oocarpa</i>	68,58 a (21,68)	61,67 b (21,10)	59,43 bc (19,99)	57,25 c (24,91)	57,98 c (22,16)	88,23 d (35,83)	106,58 c (42,81)	116,77 bc (443,38)	128,47 ab (41,08)	134,18 a (37,73)
<i>Pinus tecunumanii</i>	62,80 a (16,80)	60,03 a (17,10)	60,99 a (16,11)	64,02 a (14,24)	62,02 a (14,93)	106,69 a (43,23)	124,07 a (38,49)	115,69 a (34,55)	117,77 a (31,87)	101,82 a (25,35)
<i>Pinus taeda</i>	66,48 a (17,87)	63,53 a (18,38)	61,76 a (20,15)	63,03 a (16,44)	63,30 a (16,09)	125,64 ab (36,66)	107,06 b (38,30)	126,35 ab (37,20)	133,99 a (30,84)	116,55 ab (27,06)

Médias seguidas da mesma letra na mesma linha não indicam diferenças da característica na espécie, em sentido longitudinal, e são estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade; valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras.

5.4.3.2 Efeito da posição radial sobre características dos traqueóides

A Tabela 5.10 apresenta os resultados médios das dimensões das fibras a partir das diferentes posições no sentido radial.

De acordo com a tabela anterior, pode-se verificar que o comprimento médio dos traqueóides aumentou no sentido medula-casca em todas as espécies estudadas. Esta variação de comprimento é condizente com o modelo proposto por Sanio (1872)¹¹ citado por Foelkel *et al.* (1975b) que relata que em qualquer seção transversal do tronco ou ramos, os traqueóides são inicialmente mais curtos próximo à medula, aumentam rapidamente em comprimento durante o crescimento inicial e então estacionam o crescimento, mantendo um crescimento mais ou menos constante. A influência da idade sobre o padrão de crescimento das células e sua estabilização é ainda reforçada por Cown (1975), Cown (1980), Shimoyama (2005) e Castelo (2007).

Em relação à largura dos traqueóides, nota-se que as espécies apresentaram um aumento desta variável no sentido medula-casca, onde o maior incremento ocorreu nos primeiros 10 anos de crescimento, e a partir desta idade até o 16° e 17° ano, o aumento da largura foi menos acentuado na maioria das espécies. Estes resultados apresentam-se compatíveis com o modelo de variação relatado por Barrichelo (1979), Panshin e De Zeew (1980), Cown (1992) e Klock (2000), que relatam que as árvores apresentam uma alta taxa de crescimento nos primeiros 10 a 12 anos de idade e, posteriormente, tendem a estagnar.

Em relação à variação da espessura de parede celular, nota-se um aumento da variável no sentido medula-casca em todas as espécies estudadas. Este aumento no sentido radial é justificado pelo fato de que a espessura de parede também é afetada pela idade da árvore, onde, o tecido cambial mais velho, produz também células com características adultas (COWN, 1980), sendo clara a diferença de espessura de parede do centro (madeira juvenil) para a região externa do tronco (madeira adulta) (BARRICHELO, 1979; TOMASELLI, 1979; KLOCK, 2000; HASSEGAWA, 2003; SHIMOYAMA, 2005; CASTELO, 2007).

¹¹ SÂNIO, K. Verber die Grosse der Holzzellen bei der gemeinen Kiefer (*Pinus silvestris*). *Jahrb. Wiss. Bot.*, v. 8, p. 401-420, 1872.

TABELA 5.10 – RESULTADOS MÉDIOS DAS DIMENSÕES DOS TRAQUEÓIDES DE PINUS TROPICAIS NO SENTIDO RADIAL

Espécie	Comprimento (mm)			Largura (μm)			Espessura de parede celular (μm)		
	M	I	C	M	I	C	M	I	C
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	1,01	2,16	2,17	29,73	33,17	27,61	4,05	4,29	4,89
	1,59 c	3,26b	3,93 a	39,89 b	53,55 a	47,01 a	8,27 b	9,14 a	9,19 ab
	2,81	5,31	5,75	65,15	71,75	71,78	13,11	14,32	19,91
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	1,16	1,89	2,53	22,56	33,58	34,59	3,01	4,59	3,95
	1,67 c	2,82 b	3,87 a	34,22 b	48,95 a	45,22 a	6,02 b	8,06 a	8,69 a
	2,48	3,53	5,81	58,56	63,20	66,85	10,97	11,36	13,80
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	1,24	2,17	2,18	19,79	31,26	32,19	2,91	3,74	4,87
	2,11c	3,47 b	4,23 a	41,23 b	50,72 a	52,45 a	7,23 b	9,68 a	10,70 a
	3,95	4,72	5,64	61,21	70,62	77,7	12,77	15,93	18,06
<i>Pinus chiapensis</i>	1,47	1,51	2,70	34,39	34,85	39,68	1,45	0,81	2,78
	2,25 c	3,12 b	4,69 a	47,59 b	51,89 b	59,19 a	6,56 b	6,98 b	9,49 a
	3,23	5,06	6,01	67,39	73,96	86,74	14,39	14,23	14,37
<i>Pinus maximinoi</i>	1,25	1,94	2,95	24,35	32,19	40,36	3,33	4,32	3,96
	1,86 c	2,81 b	4,06 a	37,46 c	44,08 b	53,91 a	8,60 a	8,85 a	9,17 a
	2,67	3,87	5,94	59,31	53,14	81,74	14,01	12,00	15,65
<i>Pinus oocarpa</i>	0,91	1,71	2,25	25,18	30,86	30,04	1,51	2,21	2,17
	2,05 c	3,37 b	4,20 a	42,75 b	55,55 a	58,54 a	7,63 b	11,14 a	11,28 a
	3,56	5,34	6,53	70,54	87,90	97,37	17,99	23,79	25,60
<i>Pinus tecunumanii</i>	1,25	2,32	3,37	22,22	34,69	34,32	3,45	3,56	5,84
	1,95 c	3,63 b	4,97 a	35,68 c	50,64 b	57,39 a	7,13 c	9,72 b	12,02 a
	2,81	6,15	6,47	55,17	68,18	76,70	16,12	17,13	19,02
<i>Pinus taeda</i>	1,12	1,99	2,55	19,75	23,46	31,48	1,48	2,41	6,26
	1,72 c	3,16 b	3,77 a	43,49 a	46,82 a	49,47 a	8,72 a	8,78 a	9,15 a
	2,41	4,52	5,11	56,70	68,84	65,62	12,76	15,28	17,90

Médias seguidas da mesma letra na mesma linha não indicam diferenças da característica na espécie em sentido radial e são estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade.

Observando a tendência de variação dos traqueóides no sentido radial, principalmente largura dos traqueóides e espessura de parede celular, pode-se estabelecer uma relação com a ocorrência de madeira juvenil. Conforme mencionado na seção Materiais e Métodos deste capítulo, as amostras foram retiradas em regiões próximas a medula (até o 2° anel de crescimento), na região intermediária (aproximadamente 10° anel de crescimento) e próximo a casca (16° e 17° anel de crescimento). Nota-se a partir dos resultados, uma grande variação no aumento entre as posições medula e região intermediária, e desta até a região próxima a casca o aumento é menos acentuado, podendo ser considerado quase que constante em algumas espécies. Considerando as informações apresentadas por diversos autores para a madeira juvenil (BENDSTEN, 1978; PANSIN; DE ZEEUW, 1980; ZOBEL, 1981; ZOBEL, 1984, SENFT; BENDSTEN; GALLIGAN, 1985; ZOBEL; BUIJTENEN, 1989), e verificando os resultados da Tabela 5.13, pode-se dizer, de maneira exploratória, que para a maioria das espécies, a madeira juvenil provavelmente está concentrada até o 10° anel de crescimento (10 anos) ou um pouco antes desta idade. Uma outra análise exploratória a respeito da ocorrência de madeira juvenil no tronco é apresentada no Capítulo 7, neste caso, avaliando-se a largura dos anéis de crescimento.

Assim como para os valores médios das dimensões dos traqueóides e para as dimensões dos traqueóides nas diferentes posições ao longo fuste, os índices indicativos da qualidade da polpa celulósica e do papel foram também determinados a partir das diferentes posições radiais, sendo apresentados na Tabela 5.11.

Nota-se que o Índice de Runkel não apresentou um modelo único de variação no sentido medula-casca para as espécies estudadas, no entanto, os valores obtidos a partir das diferentes posições se apresentaram muito próximos entre si para a maioria das espécies, não sendo constatada diferença estatística significativa entre as posições em 50% das espécies.

TABELA 5.11 – RESULTADOS MÉDIOS DAS RELAÇÕES ENTRE AS DIMENSÕES DOS TRAQUEÓIDES DE PINUS TROPICAIS NO SENTIDO RADIAL

Espécie	Índice de Runkel			Fração Parede (%)			Coeficiente de Flexibilidade (%)			Índice de Enfeltramento		
	M	I	C	M	I	C	M	I	C	M	I	C
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	0,76 a (37,49)	0,65 a (29,51)	0,68 a (45,38)	40,76 a (22,58)	38,64 a (18,22)	38,96 a (21,22)	59,24 a (16,20)	61,36 a (11,47)	61,07 a (14,78)	73,00 c (39,28)	106,92 b (34,91)	146,43 a (32,85)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	0,57 a (35,57)	0,54 a (42,31)	0,68 a (46,08)	35,18 a (22,59)	33,68 a (26,92)	38,93 a (24,39)	64,82 a (12,26)	66,32 a (13,67)	61,09 a (15,55)	78,51 b (25,07)	90,88 b (26,34)	148,51 a (29,96)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	0,57 b (36,20)	0,68 ab (40,16)	0,75 a (42,35)	35,28 a (23,96)	38,89 a (26,08)	41,05 a (25,46)	64,72 a (13,08)	61,11 a (16,59)	58,95 a (17,73)	81,45 c (29,81)	120,58 b (29,44)	146,03 a (35,06)
<i>Pinus chiapensis</i>	0,40 ab (45,39)	0,32 b (44,86)	0,50 a (38,21)	27,02 ab (41,16)	22,93 b (47,14)	32,73 a (32,19)	72,98 ab (15,24)	77,07 a (14,03)	67,27 b (15,66)	48,29 b (26,77)	60,36 b (27,08)	80,35 a (18,93)
<i>Pinus maximinoi</i>	0,90 a (33,51)	0,71 b (34,21)	0,53 c (35,40)	46,20 a (18,62)	40,32 b (20,01)	33,73 c (24,69)	53,80 c (15,98)	59,68 b (13,52)	66,27 a (12,52)	98,00 b (32,04)	109,91 ab (23,88)	117,46 a (21,14)
<i>Pinus oocarpa</i>	0,63 b (59,64)	0,77 a (49,36)	0,69 ab (52,43)	35,78 a (36,24)	40,96 a (32,22)	38,27 a (32,50)	64,22 a (20,19)	59,04 a (22,35)	61,73 a (20,15)	80,19 c (38,80)	112,41 b (37,31)	126,58 a (38,63)
<i>Pinus tecunumanii</i>	0,69 a (49,00)	0,69 a (44,92)	0,78 a (41,99)	39,23 a (23,46)	38,71 a (27,87)	42,01 a (25,77)	60,74 a (15,16)	61,29 a (17,60)	57,99 a (18,67)	93,52 c (37,21)	120,18 b (24,03)	162,12 a (37,21)
<i>Pinus taeda</i>	0,70 a (34,06)	0,64 a (45,91)	0,63 a (33,45)	39,89 a (21,49)	37,25 a (30,55)	37,58 a (21,42)	60,11 a (45,64)	62,75 a (18,13)	62,42 a (12,89)	68,88 b (28,21)	113,81 a (29,57)	129,35 a (31,07)

Médias seguidas da mesma letra na mesma linha não indicam diferenças da característica na espécie em sentido radial e são estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade; Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras; M: região próxima a medula; I: região intermediária; C: região próxima a casca.

Já em relação ao Índice de Enfeltramento, os valores apresentaram grande variabilidade entre as três posições analisadas, sendo constatada diferença estatística significativa. Para esta relação foi verificado um padrão de variação definido, com aumento acentuado na direção medula-casca. Para esta relação, a justificativa do padrão de variação é encontrado porque a relação depende exclusivamente do comprimento e da largura do traqueóide, e estas duas características apresentaram um aumento linear no sentido medula-casca.

Avaliando a aptidão das espécies para a produção de papel mediante as diferentes regiões, nota-se que para o Índice de Runkel, exceto o *Pinus chiapensis* que apresenta Índice de Runkel entre 0,25 e 0,50, e com isso gera papéis com bons resultados, todas as demais espécies nas suas respectivas posições apresentam-se no intervalo de 0,50 a 1,00, onde embora apresentem fibras menos flexíveis, geram papéis com propriedades mecânicas modestas.

Para a Fração Parede e conseqüentemente Coeficiente de Flexibilidade, exceto o *Pinus maximinoi*, que apresenta elevada Fração Parede na região da medula (46,20%), todas as demais espécies e suas respectivas posições apresentam-se dentro do limite de 40%, indicando com isso baixa dificuldade de entrelaçamento assim como, traqueóides com colapso parcial, boa superfície de contato e boa união entre os elementos celulares.

Em relação ao Índice de Enfeltramento, exceto o *Pinus chiapensis* que apresenta valores menores, todas as demais espécies apresentam resultados médios elevados o que indica boa resistência ao rasgo.

Em função dos resultados obtidos e de maneira sintetizada, pode-se dizer que independente da idade de corte, as espécies apresentam fibras com características adequadas para a produção de papel.

5.5 CONCLUSÕES

De acordo com os objetivos propostos e a partir dos resultados obtidos ao longo do capítulo as seguintes conclusões são apresentadas:

- Todas as espécies apresentam propriedades organolépticas e macroscópicas muito similares entre si, sendo este resultado explicado por pertencerem ao mesmo gênero e em algumas situações a mesma espécie, diferenciando-se apenas pela variedade. De maneira geral, as espécies apresentam anéis de crescimento e cerne e alburno distintos, cheiro característico de resina, textura média a grossa, sem desenho atrativo, grã direita, cor amarelada e brilho moderado.
- A análise colorimétrica indica de maneira quantitativa e qualitativa que todas as espécies apresentam cor amarela clara, onde os parâmetros colorimétricos L^* , a^* , b^* e h^* participam da formação da cor, sendo a coordenada b^* a principal responsável, assim como os elevados valores de claridade (superior a 54 - 56).
- Os parâmetros colorimétricos obtidos a partir das diferentes faces indicam que a face transversal é a face mais escura, no entanto, como a utilização da madeira sólida normalmente ocorre a partir de peças tangenciais ou radiais, a face radial é mais clara do que a tangencial, sendo então recomendado desdobro da tora no sentido radial, caso se deseje obter peças com maior claridade.
- As espécies apresentam diferentes tonalidades no sentido radial (estatisticamente significativas), onde na região próxima a medula, a coordenada a^* (pigmentação vermelha) possui maior participação na formação da cor, devido a formação de cerne e deposição mais acentuada de substâncias orgânicas.
- Embora seja indicado o uso de pigmentos para proporcionar a homogeneidade da cor da madeira para algumas aplicações, (indústria moveleira, por exemplo) antes de serem tomadas decisões a respeito da aplicação de pigmentos, métodos subjetivos de construção e avaliação visual

dos produtos devem ser realizados, pois talvez testes estatísticos sejam rigorosos demais, e uma pesquisa de mercado, poderia também, afirmar a preferência do consumidor final.

- As espécies de *Pinus* tropicais apresentam traqueóides com comprimento médio de 2,90 mm a 3,26 mm, largura média de 42,46 μm a 50,84 μm e espessura média de 6,89 μm a 9,80 μm , onde estes resultados são semelhantes às dimensões dos elementos celulares obtidas pela literatura para espécies do gênero *Pinus*.
- Em relação à variação dos traqueóides no sentido longitudinal, as espécies de *Pinus* tropicais apresentaram diferentes comportamentos, não sendo observado um padrão de variação totalmente definido para comprimento, largura e espessura, sendo necessários estudos adicionais.
- No sentido radial, as características dimensionais dos traqueóides apresentaram um padrão de variação melhor definido, com aumento do comprimento, largura e espessura no sentido medula-casca, sendo este resultado justificado pelo fator idade.
- Todas as espécies apresentaram a partir das relações entre as dimensões dos traqueóides, índices que caracterizam as espécies de *Pinus* tropicais como espécies adequadas a produção de papel, obtendo-se a partir delas, produtos com qualidade satisfatória.

5.6 REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, C.P. **Estimativa de algumas propriedades da madeira de *Eucalyptus urophylla* por espectrometria**. 182 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

ANDRADE, A.S. **Qualidade da madeira, celulose e papel em *Pinus taeda* L.: influência da idade e da classe de produtividade**. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

BARRETO, C.C.K.; PASTORE, T.C.M. Resistência ao intemperismo artificial de quatro madeiras tropicais: o efeito dos extrativos. **Ciência Florestal**, v. 19, n. 1, p. 23-30, 2009.

BARRICHELLO, L.E.G. **Estudo das características físicas, anatômicas e químicas da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. E Golf. para a produção de celulose Kraft**. 167 f. Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura Luis de Queiróz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1979.

BARRICHELLO, L.E.G.; BRITO, J.O. Variabilidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. IPEF, n. 18, p. 81-102, 1979.

BENDSTEN, B. A. Properties of wood from improved and intensively managed trees. **Forest Products Journal**, v. 28, p. 61-72, 1978.

BOWYER, J. L.; SHMULSKY, R.; HAYGREEN, J. G. **Forest products and wood science: an introduction**. 4th ed. Ames: Iowa State Press, 2003. 554 p.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da Madeira**. São Paulo. Livraria Nobel S.A, 154 p. 1991.

CAMARGOS, J.A.A. **Colorimetria aplicada na elaboração de uma tabela de cores para madeiras tropicais**. 75f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 1999.

CAMARGOS, J.A.A.; GONÇALEZ, J.C. A colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores para madeiras tropicais. **Brasil Florestal**, n.71, 2001.

CASTELO, P.A.R. **Avaliação da qualidade da madeira de *Pinus taeda* em diferentes sítios de crescimento e espaçamentos, através do método não**

destrutivo de emissão de ondas de tensão. 137 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

CAUMO, M. **La raffinazione.** Verona: 10° Corso di Tecnologia per Ticnini Cartari. Ed. 2002/2003, 47 p.

CORE, H.A.; CÔTÉ, W.A.; DAY, A.C. **Wood Structure and Identification.** Syracuse University Press, 1979. 182 p.

COWN, D.J. Variation in tracheid dimensions in the stem of a 26-years-old Radiata pine tree. **Apitta**, v. 28, n.4 p. 237-245, 1975.

COWN, D.J. Radiata pine: wood age and wood property concepts. **New Zealand Journal of Forestry Science**, v. 10, n.3 p. 504-507, 1980.

COWN, D. J. Corewood (Juvenile wood) in *Pinus radiata* – should we be concerned?. **New Zealand Journal of Forestry Science**, v. 22, n. 1, p. 87-95, 1992.

FLORSHEIM, S.M.B. **Curvas de isopropriedades da madeira de árvores de *Pinus caribaea* var. *bahamensis*.** 225 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

FOELKEL, C. E.B.; BARRICHELO, L.E.G. Relações entre características da madeira e propriedades da celulose e papel. **O papel**, v. 36, n.9, p. 49-53, 1975.

FOELKEL, C.E.B. Celulose kraft de *Pinus* spp. **O Papel**. ABCP, São Paulo, p. 49-67, 1976.

FOELKEL, C. E.B.; BARRICHELO, L.E.G.; AMARAL, A.C.B.; VALLE, C.F. Variações das características da madeira e propriedades da celulose sulfato de *Pinus oocarpa* em função da idade do povoamento florestal. **IPEF**, n. 10, p. 81-87, 1975a.

FOELKEL, C.E.B.; FERREIRA, M.; NEHRING, J.H.; ROLIM, M.B. Variabilidade no sentido radial de madeira de *Pinus elliottii*. **IPEF**, n. 10, p. 1-11, 1975b.

FUJIWARA, S.; YANG, K.C. The relation between cell length and ring width and circumferential growth rate in Five Canadian species. **IAWA Journal**, v. 21, n.3, p. 335-345, 2000.

GONÇALEZ, J.C.; JANIN, G.; SANTORO, A.C.S.; COSTA, A.F.; VALLE, A.T. Colorimetria quantitativa: uma técnica objetiva de determinar a cor da madeira. **Brasil Florestal**, v. 72, p. 47-58, 2001.

GONÇALEZ, J.C.; JANIN, G.; FARIAS, A.L.S.; GODOI, A.C.L.; CHARRIER, F.; CHARRIER, B. Valorisation d'espèces brésiliennes de substitution pour l'industrie du meuble : tanimbuca et louro. **Bois et forêts des tropiques**, v. 286, n.4 , 2005.

GURFINKEL, G. **Wood Engineering**. New Orleans: Southern Forest Products Association, 573p. 1973.

HASSEGAWA, M. **Qualidade da madeira de *Pinus taeda* L. de procedência da África do Sul**. 2003. 107f. Dissertação. (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2003.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS (IAWA). List os macroscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin** v. 10, n.3, p. 219-332, 1989.

IWAKIRI, S. **Classificação de madeiras tropicais através do método mecânico não-destrutivo**. 91f Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1982.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira de *Pinus oocarpa* Schiede e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr e Golf**. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989

KLOCK, U. **Qualidade da madeira de *Pinus maximinoi* H. E. Moore**. 291 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

KOLLMANN, F.F.P.; COTÊ, W.A. **Principles of wood science and technology**. Berlim: Springer Verlag, v. 1, 1968. 592 p.

KRAUS, J.E; ARDUIN, M. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Seropédica, Rio de Janeiro: Editora Universidade Rural, 1997. 198p.

LARSON, P.R.; NICHOLS, J.W.P.; DADSWELL, H.E. Formation and properties of juvenile wood in southern pines: a synopsis. Madison, USDA, 2001, 42 p.

MACHADO, P.P.; HOTZA, D.; PETTER, C.; BERGMANN, C.P. Controle da qualidade para revestimentos cerâmicos através da análise colorimétrica de superfície vidrada monocromática. **Cerâmica Industrial**, v. 2, n. 3-4, p. 51-55, 1997.

MADY, F.T.M. **Conhecendo a madeira: informações sobre 90 espécies comerciais**. Manaus: SEBRAE/AM/Programa de Desenvolvimento Empresarial e Tecnológico, 2000. 212p.

MALAN, F.S. The wood quality of *Pinus chiapensis* (Mart.) Andresen grown in the Mpumalanga forest region. **Southern African Forestry Journal**, n. 192, p. 51–58, 2001.

MENDONÇA, M. A. **Características da madeira de *Pinus elliottii* com diferentes idades e propriedades do papel**. 124 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1982.

MONTAGNA, R.G.; BARBOSA, O.; BRASIL, M.A.M; VEIGA, R.A.A.; TOLEDO FILHO, D.V. Peso da matéria seca, densidade básica e dimensões de fibras de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Silvicultura**, n. 32, p. 837-840, 1983.

MORESCHI, J.C. **Propriedades tecnológicas da madeira**, 3 ed. DETF, 2010. 176 p.

MORI, C.L.S.O.; LIMA, J.T.; MORI, F.A.; TRUGILHO, P.F.; GONÇALEZ, J.C. Caracterização da cor da madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus spp.* **Cerne**, v. 11, n. 2, p. 137-146, 2005.

MUÑIZ, G.I.B.; CORADIN, V.R. Normas de procedimentos em estudo de anatomia da Madeira. I – Angiospermae, II- Gimnospermae. Brasília: Laboratório de Produtos Florestais. **Série Técnica** 15, 1991.

NISGOSKI, S. **Espectroscopia no infravermelho no estudo de características da madeira e papel de *Pinus taeda*** L.160f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.

OLIVEIRA, E.; VITAL, B.R.; PIMENTA, A.S.; DELLA LUCIA, R.M.; LADEIRA, A.M.; CARNEIRO, A.C.O. Estrutura anatômica da madeira e qualidade do carvão. **Árvore**, v. 30, n.2, p.311-318, 2006.

PANSHIN, A.J.; DE ZEEW, C. **Textbook of wood technology**: II. New York, MC Graw Hill, 4 ed., 722 p. 1980.

PASTORE, T.C.M. **Estudos do efeito da radiação ultravioleta em madeiras por espectroscopias Raman (FT-Raman), de refletância difusa no infravermelho (DRIFT) e no visível (CIE-L*a*b*)**. 117f. Tese (Doutorado em Química Analítica e Inorgânica) – Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

PINHEIRO, A. L. **Considerações sobre taxonomia, filogenia, ecologia, genética, melhoramento florestal e a fertilização mineral e seus reflexos na anatomia e qualidade da madeira**. Viçosa, SIF, 1999, 144 p.

PLUMPTRE, R.A. *Pinus caribaea*: Wood properties. **Tropical Forestry Paper**, n.17, Unit of Tropical Silviculture, Commonwealth Forestry Institute, University of Oxford. 1984, 148 p.

RIBEIRO, P. G. **Utilização de técnicas não destrutivas para caracterização de madeiras de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e de *Eucalyptus grandis***. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

ROJAS, M.L.B **Beneficiamento e polpação da raquis da bananeira “Nanicão”** (Musa grupo AAA “Giant Cavendish”). 150 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Departamento de Ciências Florestais, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

SAMPAIO, P.T.B. **Variação genética entre procedências e progênies de *Pinus oocarpa* Schiede, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. & Golf. e *Pinus maximinoi* H. E. Moore e métodos de seleção para melhoramento genético**. 169 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996.

SANSÍGOLO, C.A.; BARREIROS, R.M. Estudo comparativo das madeiras de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa* para produção de celulose Kraft. In: III CONGRESO IBEROAMERICANO EN CELULOSA Y PAPEL, 2004, Cordoba. **Anais...** CIADICYP, 2004.

SENFT, J.F.; BENDTSEN, B.A.; GALLIGAN, W.L. Weak wood. **Journal of Forestry**, v.83, n.8, p. 476-485, 1985.

SHIMOYAMA, V. R. S.; WIECHETECK, M. S. S. Características da madeira e da pasta termomecânica de *Pinus patula* var. *tecunumanii* para produção de papel imprensa. **IPEF**, v. 9, n. 27, p. 63-80, 1993.

SHIMOYAMA, V. R. S. **Estimativas de propriedades da madeira de *Pinus taeda* através do método não destrutivo de emissão de ondas de tensão, visando a**

geração de produtos de alto valor agregado. 151 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2005.

SIAU, J. F. **Transport processes in wood.** Berlin: Springer-Verlag, 1984. 245p.

SILVA JUNIOR, F.G.; VALLE, C.F.; MUNER, J.C.G. Programa de qualidade da madeira da Votorantin Celulose e Papel – VCP. **O Papel**, v. 57, n.1, p. 33-43, 1996.

SJÖSTRÖM, E. **Wood chemistry.** New York: Academic Press, 1981. 223 p.

SOUZA, M.R.; VICENTE, A.T.V.; MOURA, V.P.G.; FIORENTINI, E.A. Análise de parâmetros anatômicos de traqueóides axiais das madeiras de quatro procedências de *Pinus*. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, n. 97, 2005, 22 p.

SOUSA, R.C.; GIOVANINI, E.P.; FLORSHEIM, S.M.B.; GARCIA, J.N. Efeito da idade e da posição radial na densidade básica e nas dimensões dos traqueóides da madeira de *Pinus taeda* L. **Revista do Instituto Florestal**, v. 19, n. 2, p. 119-127, 2007.

STATGRAPHICS. Centurion XVI **User Manual.** by StatPoint Technologies, Inc. 2009.

TOMASELLI, I. Qualidade da madeira de *Pinus elliottii*, *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia* e sua correlação com as propriedades do papel. **Relatório final.** Convênio FINEP, UFPR. N. 18/79, Curitiba, (157-161). 1979.

TORRES, L.F.; MELO, R.; COLODETTE, J.L. Bleached kraft pulp production from *Pinus Tecunumanii* (Eguiluz e Perry). **Árvore**, v. 29, n. 3, p. 489-494, 2005.

TSOUMIS, G. T. **Science and technology of wood:** structure, properties, utilization. New York: Chapman e Hall, 1991. 479 p.

WATSON, A.J.; DADSWELL, H.E. Influence of fibre morphology on paper properties – Part I: Fibre length. **Appita**, v. 14, n.5, p. 168-178, 1961.

WRIGHT, J.A.; MALAN, F.S. Variation in wood and tracheid properties of *Pinus maximinoi*, *P. pseudostrobus* and *P. patula*. **IAWA**, v.12, n. 4, p. 467 - 475, 1991.

ZENID, G.J. Madeiras e suas características. In: OLIVEIRA, J.T.S.; FIEDLER, N.C.; NOGUEIRA, M. **Tecnologias aplicadas ao setor florestal brasileiro.** Jerônimo Monteiro: 2007. P. 125-158.

ZENID, G.J.; CACCANTINI, G.C.T. **Identificação macroscópica de madeiras**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 2007. 23p.

ZOBEL, B. Wood quality from fast-grown plantations. **TAPPI**, v. 64, n. 1, p. 71-74, 1981.

ZOBEL, B.J. The changing quality of the world wood supply. **Wood Science and Technology**, n.18, n.1, p.1-17, 1984.

ZOBEL, B.J.; BUIJTENEN, J.P. **Wood variation: its causes and control**. Berlin: Springer-Verlag, 1989. 361 p.

CAPÍTULO 6

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

CAPÍTULO 6

AValiação das Propriedades Químicas de Sete Espécies de Pinus Tropicais

6.1 INTRODUÇÃO

As indústrias de base florestal têm buscado constantemente alternativas para o desenvolvimento de novos produtos, os quais, muitas vezes, estão associados a utilização de novas espécies como matéria prima no processo produtivo.

Para proporcionar uma maior utilização e conseqüentemente uma utilização adequada, assim como eliminar possíveis riscos que o desconhecimento tecnológico pode ocasionar, é imprescindível o conhecimento das características tecnológicas da madeira.

Entre as diversas características tecnológicas, a composição química assume elevada importância pelo fato de exercer grande influência sobre as outras propriedades, assim como sobre processos e produtos.

Sob o ponto de vista da química elementar, a madeira é um material heterogêneo que apresenta em sua constituição carbono, oxigênio, hidrogênio, nitrogênio e pequenas quantidades de enxofre. Já em relação aos componentes macromoleculares, a madeira é constituída por um complexo químico de celulose, hemicelulose, lignina, extrativos e minerais.

Estes elementos refletem nas propriedades de permeabilidade, condutividade térmica, difusão da água de impregnação, propriedades de contração e inchamento e propriedades mecânicas. Exercem também, considerável influência sobre o rendimento em celulose, capacidade energética, e principalmente no caso dos extrativos, sobre a cor, o odor, o gosto, a durabilidade natural, cura e polimerização de tintas, vernizes e adesivos. Devido a estes efeitos este componente é caracterizado como um dos mais importantes indicadores da conformidade da madeira para diversos usos industriais.

Considerando a importância da utilização de espécies de rápido crescimento para o aumento do volume de matéria prima para uso industrial, o desenvolvimento de novas tecnologias de transformação, uso racional da madeira e geração de novos produtos, e a influência dos constituintes químicos da madeira sobre as propriedades, processos e produtos, este capítulo teve como objetivo avaliar as características químicas de sete espécies de Pinus tropicais.

6.1.1 Objetivo geral

Avaliar as propriedades químicas de sete espécies de Pinus tropicais por meio de análises convencionais.

6.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar quantitativamente os componentes químicos da madeira de sete espécies de Pinus tropicais.
- Avaliar o pH das espécies estudadas.

6.2 REVISÃO DE LITERATURA

A constituição química dos materiais lignocelulósicos é abrangente e diversificada, com relação às substâncias que nelas se traduzem em um sistema multimolecular de alta complexidade estrutural, de ligações cruzadas e de grande importância na preservação e nas propriedades dos materiais lenhosos. Estes materiais constituem então, um acervo químico e bioquímico, cuja constituição e organização ainda revestem-se de segredos e desconhecimentos, apesar do grande avanço tecnológico nas últimas décadas (ABREU *et al.*, 2006). Assim, estudos relacionados a esta linha de pesquisa tornam-se muito importantes, onde Klock *et al.* (2005) afirmam ser fundamental para o entendimento do comportamento deste material.

De acordo com Browing (1963) a elevada complexidade química da madeira assim como sua distribuição desuniforme é resultado da estrutura anatômica.

Sob o aspecto da composição química elementar, os principais componentes são o carbono (49%-50%), o oxigênio (44%-45%), hidrogênio (6%), pequenas quantidades de nitrogênio (0,1%-1%) e uma diversidade de materiais inorgânicos (0,1%-1%) (TSOUMIS, 1991).

Em termos orgânicos, a madeira é um material formado por um complexo químico de celulose, hemicelulose, lignina e extrativos (BROWING, 1963; SJÖSTRÖM, 1981; FENGEL; WEGENER, 1989; SAKA, 1993), os quais estão relacionados às suas propriedades (SEVERO; CALONEGO; SANSÍGOLO, 2006). Estes componentes possuem uma distribuição heterogênea devido à estrutura anatômica (BROWING, 1963; ANDRADE *et al.*, 2010; ANDRADE *et al.*, 2011) e sua concentração muda de acordo com a espécie, tratos silviculturais (SEVERO; CALONEGO; SANSÍGOLO, 2006) e região ou condições de crescimento (SAKA, 1993; TRUGILHO; LIMA; MENDES, 1996).

Na Tabela 6.1 podem ser visualizados os diferentes constituintes químicos da madeira, bem como sua variação entre os grupos produtores de madeira.

TABELA 6.1 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA

Componente	Coníferas (%)	Folhosas (%)
Holocelulose	59,8 – 80,9	71,0 – 89,1
Celulose	30,1 – 60,7	31,1 – 64,4
Polioses	12,5 – 29,1	18,0 – 41,2
Lignina	21,7 – 37,0	14,0 – 34,6
Extrativos em água quente	0,2 – 14,4	0,3 – 11,0
Extrativos em água fria	0,5 – 10,6	0,2 – 8,9
Extrativos em solventes orgânicos	0,2 – 8,5	0,1 – 7,7
Materiais inorgânicos	0,02 -1,1	0,1 – 5,4

Fonte: TSOUJIS (1991) adaptado. Valores obtidos a partir de 153 espécies de clima temperado.

A divisão destes elementos pode ser efetuada em substâncias de baixo peso molecular e substâncias macromoleculares, ou ainda em componentes fundamentais e componentes acidentais.

6.2.1 Componentes fundamentais

Os componentes fundamentais caracterizam a madeira, pois são parte integrante das paredes das fibras e traqueóides e da lamela média (SILVA, 2002; SEVERO; CALONEGO; SANSÍGOLO, 2006), os quais se resumem em celulose, hemicelulose ou polioses e lignina (SILVA, 2002). Segundo Fengel e Wegener (1989) as proporções e composição química da lignina e das polioses diferem em coníferas e folhosas, já a celulose é um componente que se mantém mais uniforme, conforme pode ser observado na tabela acima.

6.2.1.1 Celulose

A celulose é o componente majoritário, sendo caracterizado como um polímero linear de alto peso molecular a qual exerce a função de principal

componente da parede celular (KOCH, 1972; FENGEL; WEGENER, 1989). É composto por moléculas de glucose ($C_6H_{12}O_6$), um monossacarídeo formado a partir do processo de fotossíntese do dióxido de carbono presente na atmosfera (TSOUMIS, 1991). Possui forte tendência de formar pontes de hidrogênio inter e intramoleculares, além de grande afinidade com a água, mesmo sendo insolúvel nela (KLOCK *et al.*, 2005).

Segundo Andrade (2006), no Brasil e em alguns outros países, o termo celulose possui duplo significado. O significado químico corresponde à celulose que é formada por uma cadeia linear de unidades de anidrogucose, já o significado técnico corresponde à celulose como sendo o produto do desfibramento ou da deslignificação total ou parcial de materiais fibrosos, sendo comum também se aplicar ao significado técnico da celulose as denominações polpa celulósica, polpa, pasta e massa.

6.2.1.2 Hemicelulose

As hemiceluloses são polissacarídeos de massas moleculares relativamente baixas, as quais estão associadas à celulose na parede celular, e formam a fração denominada holocelulose (FENGEL; WEGENER, 1989; TRUGILHO; LIMA; MENDES 1996), cujos componentes principais são açúcares, sendo eles, glucose, manose, galactose, pentose, xilose e arabinose (ANDRADE, 2006).

Quando este componente é isolado da madeira, apresenta-se como uma mistura complexa de polissacarídeos, sendo os mais importantes as glucoxilanas, arabinoglucoxilanas, glucomananas, arabinogalactanas e galactoglucomananas. Em virtude desta característica, o termo hemicelulose não define um composto polimérico, mas uma classe de componentes poliméricos presentes nos vegetais fibrosos, onde cada um deles possui propriedades particulares (PHILIPP; D'ALMEIDA, 1988). Segundo estes autores, o teor e a proporção dos diferentes componentes encontrados nas hemiceluloses de madeira variam com a espécie e, provavelmente de árvore para árvore.

As hemiceluloses ocorrem ao longo de toda a parede celular, desde a lamela média até a camada S₃ da parede secundária, entretanto, o seu teor é maior nas camadas S₁ e S₃ e menor em S₂ (TRUGILHO; LIMA; MENDES, 1996). Fisicamente, são materiais sólidos brancos, raramente cristalinos ou fibrosos, que formam um tipo de preenchimento da fibra, aumentando a resistência do papel e o rendimento da polpa celulósica (BIERMANN, 1996). Segundo o autor anteriormente citado, possuem alta reatividade, sendo solúveis em álcalis e facilmente hidrolisáveis por ácidos diluídos para formação de açúcares.

6.2.1.3 Lignina

A lignina corresponde ao terceiro componente da madeira (BROWING, 1963; PHILLIP; D'ALMEIDA, 1988; FENGEL; WEGENER, 1989; GOLDSTEIN, 1991; SJOSTRÖM, 1981; KLOCK, 2000; KLOCK *et al.*, 2005) e é uma substância amorfa localizada na lamela média composta, bem como na parede secundária, interpenetrando nas fibrilas e enrijecendo as paredes celulares. (PHILLIP; D'ALMEIDA, 1988; FENGEL; WEGENER, 1989). É um polímero de natureza aromática, com alto peso molecular, que tem como base estrutural unidades de fenilpropano ligadas a grupos metoxílicos e hidroxílicos, dependendo do tipo de madeira (BIERMANN, 1996; TRUGILHO; LIMA; MENDES, 1996). De acordo com Barrichelo e Brito (1985), está intimamente associada aos carboidratos da madeira não somente pelo entrelaçamento físico, mas também através das ligações químicas.

É um componente que confere rigidez à parede celular e atua como um composto de ligação da celulose e polioses, gerando uma estrutura resistente ao impacto, a compressão e a dobra, além de um decréscimo na permeabilidade da água por meio da parede das células (MORAIS, NASCIMENTO; MELO, 2005b).

A remoção deste elemento é o principal objetivo dos processos de obtenção de polpa celulósica e branqueamento, e a determinação do conteúdo de lignina na madeira assim como na polpa celulósica proporcionam informações para avaliação dos processos industriais, em termos de rendimento, branqueabilidade e alvura (FENGEL; WEGENER, 1989).

6.2.2 Componentes acidentais

Os componentes acidentais são substâncias que não fazem parte da parede celular ou da lamela média, e podem ser divididos em duas classes: extrativos e materiais inorgânicos.

6.2.2.1 Extrativos

Os extrativos são componentes que não fazem parte da estrutura química da parede celular. Incluem um elevado número de substâncias químicas radicalmente diferentes, normalmente de baixo peso molecular, sendo a maioria delas solúveis em água e solventes orgânicos (KOCH, 1972; SJÖSTROM, 1981; BRITO; BARRICHELO, 1985; GOLDSTEIN, 1991; HIGUCHI, 1997; MORAIS, NASCIMENTO; MELO, 2005a). Fazem parte deste componente os ácidos graxos, ceras, compostos fenólicos e alifáticos, terpenos, entre outros (KOCH, 1972; PHILLIP; D'ALMEIDA, 1988; FENGEL; WEGENER, 1989; SJÖSTROM, 1981; PHILLIP; D'ALMEIDA, 1988; KLOCK, 2000; KLOCK *et al.*, 2005), os quais são necessários para manter as diversas funções biológicas da árvore e para o entendimento da taxonomia e da bioquímica (SJÖSTRÖM, 1981).

A maioria destes componentes minoritários é muito diferente entre espécies, e alguns componentes são limitados a certas espécies somente (HIGUCHI, 1997). Segundo Sjöström (1981) o teor de extrativos é normalmente inferior a 10% da massa seca da amostra, no entanto, madeiras tropicais podem apresentar maiores quantidades (HIGUCHI, 1997).

Nas espécies do gênero *Pinus*, a literatura indica a ocorrência de vários ácidos graxos e ceras (MORAIS; NASCIMENTO; MELO, 2005a). Phillip e D'Almeida (1988) complementam ainda, que nos extrativos de coníferas se encontram também vários componentes fenólicos, dos quais alguns são resíduos e subprodutos da biossíntese da lignina. Neste grupo produtor de madeira, os extrativos se localizam principalmente nos canais de resina, nas células de parênquima e no cerne, embora

também estejam presentes nas cavidades celulares, principalmente os solúveis em água (SJÖSTRÖM, 1981).

De acordo com Hillis e Brown (1978) o teor de extrativos é um dos mais importantes indicadores da conformidade da madeira para diversos usos industriais. Estes componentes influenciam a cor, odor, gosto, durabilidade, relação água-madeira, além de diversos processos de transformação (LIMA *et al.*, 2007).

Em relação aos processos de secagem da madeira, dependendo da espécie e dos parâmetros adotados para a remoção artificial da umidade, ocorre a migração e a concentração de extrativos na superfície, originando a chamada superfície inativa ou contaminada (MARRA, 1992; PIZZI, 1994).

Na produção de painéis reconstituídos e nos processos de acabamento, a acentuada presença destes compostos pode alterar ou comprometer a utilização de tintas e vernizes, pois interferem na cura, na penetração e na reação de polimerização dos adesivos (HILLIS; BROWN, 1978; LIMA *et al.*, 2007). Segundo Jankowsky (1988) madeiras com elevados teores de extrativos apresentam dificuldades de colagem, e Cloutier (1998) afirma que estas dificuldades de colagem podem ser resumidas numa linha de cola de baixo desempenho. Além disso, Foster (1967) afirma que os extrativos desempenham um papel importante no consumo de resina.

Na produção de celulose, os extrativos são compostos indesejáveis, pois apresentam maior dificuldade de polpação e corrosão dos metais (BROWING, 1963), além de reduzir o rendimento e a qualidade da polpa (PHILLIP; D'ALMEIDA, 1988). Fengel e Wegener (1989) complementam que teores elevados ou extrativos menos solúveis são prejudiciais pelo fato de consumirem parte dos reagentes utilizados na deslignificação, formar incrustações em diversos equipamentos, dificultar a depuração e branqueamento da polpa celulósica e gerar manchas no papel produzido.

Já para a geração de energia, alguns dos extrativos contribuem para aumentar o poder calorífico (PHILIPP; D'ALMEIDA, 1988), e no caso da resistência natural, a elevada presença destes elementos, onde muitos são tóxicos, pode inibir o ataque de fungos, bactérias e cupins (FENGEL; WEGENER, 1989).

Em relação às propriedades físicas a influência dos extrativos está relacionada à redução da contração e do inchamento. A redução é proporcional ao espaço ocupado pelos extrativos na parede celular, logo, removendo-se os extrativos, tanto a contração quanto o inchamento aumentam (TSOUMIS, 1991).

6.2.2.2 Materiais inorgânicos

O conteúdo dos componentes minerais da madeira é normalmente baixo, formado, principalmente, por óxidos como: óxido de cálcio, de magnésio, de fósforo, de silício, de potássio e outros (BROWING, 1963; TRUGILHO; LIMA; MENDES, 1996).

De acordo com Sjöström (1981), Phillip e D'Almeida (1988) e Fengel e Wegener (1989) estes minerais são retirados do solo, durante o crescimento das árvores, e sua quantidade e composição depende das condições ambientais sob as quais a árvores se desenvolve, bem como, da localização do mineral na planta.

O teor de cinzas varia entre 0,2 e 0,9% do peso de matéria seca das madeiras de clima temperado, (SJÖSTRÖM, 1981; FENGEL; WEGENER, 1989), sendo normalmente inferior a 0,5% em madeiras de clima temperado (BROWING, 1963), no entanto, algumas madeiras, e particularmente as de clima tropical podem atingir 5 % de materiais inorgânicos (BROWING, 1963; FENGEL; WEGENER, 1989).

Em termos de implicações, a presença de alguns desses componentes, como o cálcio, o fósforo e o enxofre, em dosagens elevadas, são prejudiciais e até mesmo limitantes, para determinadas finalidades industriais (TRUGILHO; LIMA; MENDES, 1996).

6.2.3 pH

O pH de uma solução é uma medida de sua concentração de íons de hidrogênio. Tais medidas são de grande importância em muitas formas de investigação e controle industrial (STAMM, 1964). Em termos de processamento e

aproveitamento da madeira, o pH influi na corrosão de metais, na fixação de determinados preservantes químicos, na coloração de algumas madeiras expostas a radiação solar, na aplicação de tintas e vernizes e na polimerização de colas e adesivos (ALBIN, 1975).

De acordo com Stamm (1964) o intervalo de pH para madeira está situado entre 3,0 e 5,5. Segundo este mesmo autor, um pH ácido é devido à presença de extrativos ácidos ou da adsorção de cátions ou dos sais que compõem as cinzas, deixando as soluções de equilíbrio ligeiramente ácidas. Browing (1963) complementou que a mais importante consideração sobre aumento da acidez é causada pela hidrólise do grupo acetil para ácido acético na presença de água quente.

A acidez da madeira depende da quantidade e dos tipos dos extrativos. Normalmente o pH do alburno situa-se entre 5 e 6 para quase todas as espécies e o pH do cerne alcança valores de 3 a 4 (JONHS; NIAZI, 1980). Este aumento da acidez no sentido medula-casca é devido à maior quantidade de extrativos no cerne e a hidrólise gradual dos grupos acetil, com a formação concomitante de ácido acético (STEWART *et al.*, 1961).

6.3 MATERIAIS E MÉTODOS

A determinação das propriedades químicas das espécies de *Pinus* tropicais foi efetuada a partir de amostras retiradas dos discos utilizados para a análise do crescimento e produção volumétrica e também para a determinação das características anatômicas.

Os discos foram seccionados obtendo-se cunhas em todas as alturas comerciais (0%, 25%, 50%, 75% e 100%), as quais foram reduzidas a cavacos. Os cavacos foram transformados em serragem em moinho de martelo e sequencialmente em moinho de facas tipo Wiley. A serragem foi classificada em peneiras manuais, sendo utilizadas para a determinação dos componentes químicos, as frações que passaram na peneira de 40 *mesh* e ficaram retidas na peneira de 60 *mesh*, conforme a Norma TAPPI 264:1997. Após a classificação foi determinado o percentual de material absolutamente seco a fim de efetuar as devidas correções durante a execução das análises.

As análises químicas realizadas encontram-se abaixo relacionadas, juntamente com as respectivas normas. Foram realizadas 3 repetições por análise na espécie.

- Solubilidade em Água Fria – TAPPI 207:1999
- Solubilidade em Água Quente – TAPPI 207:1999
- Solubilidade em Hidróxido de Sódio (NaOH) – TAPPI 212:2002
- Extrativos Totais – NBR 14853:2002 - Determinação do material solúvel em etanol:tolueno e em diclorometano.
- Teor de Lignina Insolúvel - NBR 7989:2003 - Determinação de lignina insolúvel em ácido.
- Materiais Inorgânicos ou Cinzas – TAPPI 211:1993
- Teor de Holocelulose – determinado por diferença, incluindo o teor de cinzas.
- pH

Para a determinação do pH da madeira, foi efetuada adaptação da Norma TAPPI 252:2002. Foram pesados 2g de serragem absolutamente seca, as quais foram transferidas para erlenmeyer, sendo posteriormente adicionado 100 ml de água destilada. O material foi mantido sob fervura em banho maria durante 1 hora, onde após o resfriamento a temperatura ambiente (23° - 24°C), foram executadas as medições. As leituras foram efetuadas em pHmetro digital após o intervalo de 2 e 24 horas.

A Figura 6.1 apresenta alguns dos procedimentos inerentes a determinação das propriedades químicas da madeira das espécies de *Pinus* tropicais.



FIGURA 6.1 – PROCEDIMENTOS PARA DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS

a) Amostragem; b) Preparação e classificação das partículas; c) Solubilidade em água fria; d) Solubilidade em hidróxido de sódio; e) Extrativos totais; f) Leitura do pH.

6.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.4.1 Composição química quantitativa

Os resultados médios da composição química das diferentes espécies de *Pinus* tropicais são apresentadas na Tabela 6.2.

Pode-se verificar que a espécie que apresentou o maior teor de componentes solúveis em água fria foi o *Pinus oocarpa*, com valor médio de 3,63% em relação ao seu peso seco. Já o menor valor médio foi obtido a partir do *Pinus taeda* (2,02%), o qual é estatisticamente igual ao *Pinus tecunumanii* (2,40%) e ambos apresentam diferença estatística significativa em relação à primeira espécie citada. Entre as demais espécies não foi constatada diferença estatística significativa para esta variável. A solubilidade em água fria indica a presença de gomas, taninos, açúcares e corantes (OLIVEIRA *et al.*, 2005).

Já a solubilidade em água quente, além de dissolver os componentes solúveis em água fria, solubiliza também amidos (OLIVEIRA *et al.*, 2005). Neste contexto, o *Pinus oocarpa* (5,14%) apresentou o maior valor médio, onde, entre as espécies de *Pinus* tropicais, apresentou diferença estatística significativa somente em relação ao *Pinus maximinoi*. Não foi observada espécie com teor de componentes solúveis em água quente inferior a testemunha.

De maneira geral, considerando a influência dos componentes solúveis em água e a industrialização da madeira, pode-se dizer que em relação aos processos de acabamento, a influência destes elementos está relacionada a composição das tintas e vernizes, onde alguns destes produtos são formulados a base d'água, podendo, assim, surgir manchas no produto final caso não ocorra a secagem do produto de acabamento no intervalo de tempo adequado. Já nos processos de laminação, estes extrativos podem ser solubilizados durante o cozimento ou vaporização da tora, o que induz um maior cuidado com os efluentes.

TABELA 6.2 – RESULTADOS MÉDIOS DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DA MADEIRA DE PINUS TROPICAIS

Espécie	Água fria ¹	Água quente ¹	NaOH ¹	Extrativos totais	Lignina	Mat. inorgânicos	Holocelulose ²
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	3,36 ab (3,98)	4,46 ab (1,91)	13,16 bc (5,50)	8,76 ab (4,20)	32,30 ab (2,12)	0,32 a (2,24)	58,62
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	2,67 ab (5,89)	4,02 ab (1,62)	11,38 cd (3,83)	8,01 abc (2,47)	31,14 abc (0,80)	0,20 bc (3,63)	60,65
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	2,93 ab (4,57)	3,98 ab (6,85)	13,39 bc (6,93)	6,96 d (4,17)	30,08 bc (2,67)	0,27 ab (3,08)	62,69
<i>Pinus chiapensis</i>	3,00 ab (2,68)	4,19 ab (4,94)	16,15 a (6,17)	8,82 a (4,41)	32,43 a (3,21)	0,14 c (7,25)	58,61
<i>Pinus maximinoi</i>	2,74 ab (3,21)	3,51 b (6,44)	11,86 c (7,58)	4,76 e (2,19)	29,67 c (0,24)	0,17 c (2,48)	65,40
<i>Pinus oocarpa</i>	3,63 a (3,79)	5,14 a (2,63)	12,85 bc (6,40)	7,93 bcd (4,23)	31,21 abc (0,79)	0,21 bc (6,40)	60,65
<i>Pinus tecunumanii</i>	2,40 b (4,89)	4,10 ab (5,33)	14,72 ab (2,69)	7,16 cd (2,28)	29,86 c (0,99)	0,21 bc (5,46)	62,77
<i>Pinus taeda</i>	2,02 b (3,25)	2,90 b (3,22)	9,31 d (3,34)	3,34 f (6,18)	30,51 abc (3,01)	0,28 ab (2,45)	65,87
<i>p</i>	0,008*	0,010*	0,000*	0,002*	0,007*	0,000*	-

Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna são estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade; Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras; ¹Solubilidade; ²Teor de holocelulose determinado por diferença; * Significativo a 95% de probabilidade.

Em relação ao teor de componente solúveis em hidróxido de sódio (NaOH), o qual determina o grau de ataque da madeira por fungos e outros agentes biodegradadores, verifica-se que o *Pinus chiapensis* apresentou o maior valor médio. Por outro lado, vale ressaltar que muitas vezes ocorre também, a solubilização da lignina e das hemiceluloses durante a realização desta análise, o que pode proporcionar um aumento dos componentes solúveis neste reagente, sem a madeira estar realmente degradada.

Para a variável extrativos totais, pode-se notar que os resultados médios variaram de 3,34% a 8,82%, os quais apresentam-se adequados ao intervalo de variação apresentado por Fengel e Wegener (1989) que relatam que a quantidade em coníferas é de aproximadamente $5 \pm 3\%$, ou ao valor apresentado por Sjöström (1991) que indica valor até 10%, normalmente.

O maior valor médio foi apresentado pelo *Pinus chiapensis* (8,82%), o qual é estatisticamente superior a todas as demais espécies, exceto ao *Pinus caribaea* var. *bahamensis* e ao *Pinus caribaea* var. *caribaea*. Observa-se também, que nenhuma das espécies de *Pinus* tropicais apresentou teor médio de extrativos inferior à testemunha.

De uma maneira geral, uma maior quantidade de extrativos pode exercer influência negativa sobre a polimerização e cura de adesivos, de tintas e vernizes. Pode ainda, influenciar a cura do cimento em produtos de cimento-madeira, aumentar as dificuldades do processamento mecânico com a elevada ocorrência de resina e também gerar mais dificuldades durante a deslignificação, podendo gerar incrustações nos equipamentos.

Em relação ao teor de lignina, pode-se notar que todas as espécies apresentaram resultado médio de acordo com o intervalo de variação apresentado por Tsoumis (1991) que descreve valores entre 21,7% a 37,0%. Por outro lado, os valores obtidos para as espécies de *Pinus* estudadas neste trabalho apresentarem-se na maioria dos casos ligeiramente superiores aos valores de referência mencionados por Fengel e Wegener (1989), que mencionam que coníferas apresentam percentual de $28 \pm 2\%$. O menor e o maior valor médio foram encontrados a partir do *Pinus maximinoi* e do *Pinus chiapensis*, respectivamente,

indicando com isso, menor e maior consumo de álcali ativo caso a utilização destas espécies seja a produção de polpa celulósica ou papel.

A respeito dos materiais inorgânicos (cinzas), pode-se observar que os valores médios variaram de 0,14% (*Pinus chiapensis*) a 0,32% (*Pinus caribaea* var. *bahamensis*). Em comparação com o intervalo de variação deste componente indicado pela literatura para espécies coníferas, nota-se que os mesmos estão de acordo com os valores relatados por Sjöström (1981) e por Fengel e Wegener (1989), que relatam valores de 0,2% a 0,9% (quase sempre menor que 0,5%) em madeiras que se desenvolvem em zonas temperadas. Estes resultados são ainda, bastante semelhantes aos resultados apresentados por Foelkel (1976), que encontrou valores de 0,3% a 0,4% e aos de Phillip e D'Almeida (1988), que obtiveram valores entre 0,2% e 0,3%, para espécies coníferas.

Observa-se ainda, a partir dos valores médios dos materiais inorgânicos, que nenhuma das espécies apresentou teor de materiais inorgânicos elevados, demonstrando com isso, que não haverá desgaste excessivo das ferramentas de corte durante o seu processamento.

Já o teor de holocelulose variou entre 58,61% a 65,87%, onde mesmo que o extremo inferior seja ligeiramente menor que a variação indicada por Tsoumis (1991) (59,80% a 80,90%), os valores podem ser considerados compatíveis.

Em comparação dos valores médios obtidos neste trabalho e descritos na Tabela 6.2 com resultados encontrados em outras pesquisas a partir destas mesmas espécies, verifica-se que Brito e Nucci (1984) a partir de estudo tecnológico da madeira de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* para produção de carvão vegetal e briquetes, obtiveram a partir de análise somativa teor de holocelulose de 64,7%, teor de lignina de 33,6% e extrativos em álcool-benzeno de 5,1%, sendo estes resultados próximos entre si.

Para a espécie *Pinus caribaea* var. *caribaea* a literatura dispõem de poucos resultados, entre eles, o estudo de Godoy *et al.* (2007) que avaliando o teor de lignina nesta espécie, obtiveram a partir de 3 sítios em Cuba, valor médio de 27,13%, sendo este valor, bastante inferior ao valor médio de 31,14% determinado neste trabalho.

Em relação à variedade *hondurensis*, maior número de pesquisas foram efetuados com esta espécie, onde Barrichelo (1979), obteve 6,00% de extrativos em água quente, teor de lignina de 26,80%, holocelulose de 72,3% e teor de cinzas de 0,2% a partir de árvores de 16 anos plantadas na região de Agudos – SP. Comparando estes resultados com os apresentados na Tabela 6.2 para a espécie, verifica-se que os valores encontrados por Barrichelo (1979) foram superiores para a solubilidade em água quente e teor de holocelulose e inferior para o teor de lignina, o que significa um menor consumo de reagentes no processo de cozimento e um maior rendimento em celulose. Em relação ao teor de materiais inorgânicos, pode-se dizer que entre os dois estudos os valores são similares.

Brito e Nucci (1984) também estudando a qualidade da madeira desta espécie para a produção de carvão vegetal e briquetes, encontraram teor de lignina de 31,80%, teor de holocelulose de 65,8% e teor de materiais inorgânicos de 0,30% a partir de plantio com 8 a 9 anos de idade localizado no estado de Minas Gerais. Em relação a estes resultados, nota-se que as propriedades químicas encontradas no presente trabalho podem ser consideradas similares.

Já Mendes (2001) obteve para esta espécie com 11 anos de idade, teor de componentes solúveis em água fria de 1,68%, solubilidade em água quente de 3,92%, extrativos totais de 5,12%, teor de lignina de 28,90%, e teor de cinzas de 0,21%, onde estes resultados são ligeiramente inferiores aos determinados nesta pesquisa. Este resultado pode estar relacionado a idade, já que as árvores avaliadas são provenientes do mesmo sítio de crescimento. Trugilho, Lima e Mendes (1996) corroboram com esta possível justificativa, relatando a partir seu estudo com *Eucalyptus*, que as características químicas estão sujeitas a grandes variações iniciais na madeira juvenil com tendência de estabilização nos valores de extrativos totais, lignina e holocelulose com a idade. Esta diferença, principalmente no teor de extrativos, pode ainda estar associada com as mudanças provocadas pelo processo de cernificação da madeira, no qual os extrativos, principalmente os polifenóis são depositados na região do cerne.

Em relação aos resultados encontrados por Sansígolo e Barreiros (2004) cujo teor de extrativos totais foi de 4,7%, teor de lignina de 26,6% e holocelulose em torno de 68,60%, a partir de árvores de 21 anos, nota-se que tais valores são

inferiores ao do presente estudo, onde possivelmente além do local de crescimento e da procedência genética, a idade exerceu influência sobre o percentual dos elementos químicos. Segundo Trugilho, Lima e Mendes (1996) o teor de extrativos totais e de lignina diminuem com a idade e o teor de holocelulose aumenta, o que corrobora a comparação entre estes dois estudos.

Para a espécie *Pinus chiapensis*, Mendes (2001) relata componentes solúveis em água fria, água quente e em hidróxido de sódio de 2,98%, 4,76% e 13,50%, respectivamente, extrativos totais de 6,19%, teor de lignina de 28,29 e materiais inorgânicos de 0,15%. Comparando estes resultados com os apresentados na Tabela 6.2, pode-se notar que este autor obteve valores médios ligeiramente inferiores para a maioria das propriedades, o que indica que possivelmente com o aumento da idade ocorreu o processo de cernificação, elevando principalmente o teor de extrativos, já que ambos os materiais estudados provém do mesmo sítio de crescimento. Por outro lado, é possível verificar que o teor de lignina encontrado por este autor é sensivelmente menor, o qual pode estar associado entre outros fatores, a norma utilizada para sua determinação. Além disso, em muitos casos, a determinação do teor de lignina pelo método *Klason* ou pelo método ácido, faz com que parte deste componente seja solubilizado, o qual aumenta seu valor final.

Em relação ao *Pinus maximinoi*, Klock (2000) e Mendes (2001) obtiveram a partir da avaliação de material proveniente do mesmo sítio de crescimento, valores médios dos componentes solúveis em água fria, água quente e hidróxido de sódio de 1,84%, 2,92%, 9,90%, 3,72%, respectivamente, e extrativos totais de 3,72%, os quais são ligeiramente inferiores aos determinados neste trabalho, sendo possivelmente justificados pela maior deposição de substâncias orgânicas na região do cerne, como já mencionado anteriormente. Para o teor de lignina, estes autores obtiveram valores de 28,70% o qual mesmo inferior pode ser considerado similar ao deste trabalho. Para o teor de materiais inorgânicos, observa-se valores iguais entre os 3 estudos e para o teor de holocelulose, Klock (2000) apresenta valor médio de 67,5%, onde mesmo superior, os valores podem ser considerados compatíveis entre si, mesmo com materiais a partir de diferentes idades.

Para a espécie *Pinus oocarpa*, Brito e Nucci (1984) avaliando a qualidade da madeira para produção de carvão e briquetes aos 8-9 anos de idade e partir de

plântio em Minas Gerais, obtiveram teor de lignina de 31,00% e teor de holocelulose de 62,00%, onde estes valores são similares aos determinados neste trabalho. Sansígolo e Barreiros (2004) em estudo da madeira desta espécie para a produção de celulose encontraram para plântio de 20 anos de idade, teor de extrativos totais de 5,6%, teor de lignina de 26,50% e teor de holocelulose de 67,90%, cujos valores são inferiores ao deste trabalho, principalmente para os componentes lignina e holocelulose, o que configura neste caso, menor consumo de álcali ativo e maior rendimento a partir dos resultados destes autores.

Já Moraes, Nascimento e Melo (2005a) avaliando os componentes macromoleculares da madeira de *Pinus oocarpa* com 8 anos de idade proveniente da região de Sacramento – MG, obtiveram teor de extrativos em água quente de 4,31%, em etanol 3,01%, e em etanol-tolueno 4,38%, teor de materiais inorgânicos de 1,26% e lignina de 25,18%, onde os resultados médios dos componentes solúveis em água quente podem ser considerados similares entre si, o teor de lignina bastante inferior, o que é muito bom, mas por outro lado, tais autores encontraram valores bastante elevados para o teor de materiais inorgânicos, o que pode indicar problemas frente ao processamento mecânico desta espécie.

Mendes (2001) estudando a viabilidade de utilização desta espécie para a produção de painéis de partículas orientadas (OSB) encontrou valores de 1,77% para solubilidade em água fria, 3,85% para solubilidade em água quente e extrativos totais de 5,12%, onde estes valores são ligeiramente inferiores ao do presente trabalho, o qual é justificado, como mencionado anteriormente pela idade e deposição de substâncias orgânicas na região interna do tronco. Em relação ao teor de lignina, verifica-se que este autor obteve valor médio de 27,76%, sendo este resultado inferior. Para o teor de materiais inorgânicos os resultados médios de ambos os trabalhos podem ser considerados similares entre si.

Em relação à espécie *Pinus tecunumanii*, a literatura apresenta teor de holocelulose de 60,41%, teor de lignina de 35,49 % e extrativos totais de 4,10% (SHIMOYAMA; WIECHETECK, 1993). Comparando os resultados obtidos por estes autores com os valores médios apresentados na Tabela 6.2, verifica-se que os extrativos do presente trabalho apresentam valor médio superior, no entanto o teor de lignina é consideravelmente inferior, o que caracteriza menor consumo de

reagentes no processo de cozimento e conseqüentemente maior rendimento da matéria celulósica para produção de papel.

Considerando os resultados apresentados por Mendes (2001) verifica-se que o autor obteve valor médio para a solubilidade em água fria de 1,92%, solubilidade em água quente de 4,19%, solubilidade em hidróxido de sódio de 12,98%, extrativos totais de 5,54%, teor de lignina de 27,23% e materiais inorgânicos de 0,19%, onde para as propriedades solúveis em água ou solvente orgânicos, os resultados médios do presente trabalho apresentam-se superiores, assim como o teor de lignina e materiais inorgânicos.

Para a espécie utilizada como testemunha (*Pinus taeda*), é possível observar que entre as inúmeras pesquisas desenvolvidas com esta espécie, alguns dos resultados disponíveis na literatura são de extrativos totais de 3,30%, teor de lignina de 27,10%, teor de holocelulose de 69,60% (BORTOLETTO JUNIOR, 1999); extrativos totais de 3,03%, teor de lignina de 28,76%, teor de holocelulose de 68,00% e materiais inorgânicos de 0,17% (KLOCK, 2000); teor de extrativos totais entre 2,15% a 2,40%, teor de lignina de 26,55% a 28,87%, teor de holocelulose entre 70,70% a 72,73% e materiais inorgânicos no intervalo de 0,23% a 0,28% (ANDRADE, 2006); teor de extrativos totais de 7,37%, teor de lignina de 29,34%, teor de holocelulose de 63,03% e materiais inorgânicos de 0,30% (TRIANOSKI, 2010), onde os resultados entre as referidas pesquisas podem ser consideradas compatíveis entre si.

De maneira geral pode-se verificar que os resultados obtidos para as espécies de *Pinus* tropicais apresentam valores médios próximos entre si. Já quando estes valores são comparados com a espécie testemunha, nota-se que o *Pinus taeda* apresenta valores inferiores para os componentes solúveis em água e solventes orgânicos, menor teor de lignina em relação a maioria das espécies e teor de holocelulose mais elevado, no entanto, apesar destas diferenças, os valores podem ser considerados compatíveis. Desta forma, pode-se afirmar a partir dos resultados encontrados e comparados com a literatura, que a composição química quantitativa das espécies de *Pinus* tropicais encontra-se de acordo com o intervalo de variação observado para espécies do gênero *Pinus*.

6.4.2 pH

Na Tabela 6.3 são apresentados os valores médios do potencial hidrogeniônico (pH) das espécies de *Pinus* tropicais.

TABELA 6.3 – RESULTADOS MÉDIOS DO pH DAS ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

Espécie	pH (2 horas)	pH (24 horas)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	4,59 ab (2,16)	4,61 a (2,15)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	4,34 ab (0,33)	4,34 ab (0,32)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	4,47 ab (0,79)	4,43 ab (0,96)
<i>Pinus chiapensis</i>	4,23 b (1,51)	4,17 b (0,51)
<i>Pinus maximinoi</i>	4,54 ab (1,72)	4,48 ab (0,79)
<i>Pinus oocarpa</i>	4,61 a (3,14)	4,49 ab (3,45)
<i>Pinus tecunumanii</i>	4,46 ab (1,75)	4,32 ab (0,82)
<i>Pinus taeda</i>	4,71 a (1,65)	4,64 a (1,63)
<i>p</i>	0,015*	0,032*

Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna são estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade; Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras; * significativo a 95% de probabilidade.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 6.3 é possível verificar que a espécie que apresentou o maior valor médio do potencial hidrogênio após 2 e 24 horas foi o *Pinus taeda*, onde este resultado indica que esta espécie tende à um caráter mais neutro (pH: 7) e com isso possui menor acidez. Já a espécie *Pinus chiapensis* apresentou o menor valor médio nas duas condições avaliadas, revelando ser, entre as espécies estudadas, a espécie com maior acidez.

Pode-se notar ainda, a partir dos resultados encontrados, que as variações entre os dois intervalos de medições foram bastante pequenas, indicando com isso, que o tempo de imersão não exerce grande influência no valor final, e sim, que o efeito da temperatura a qual as amostras são submetidas é suficiente para solubilizar os extrativos que dão origem a propriedade do pH. Este resultado é corroborado pela afirmação de Browing (1963), que relata que a maior acidez é causada pela hidrólise do grupo acetil para ácido acético na presença de água quente.

Comparando os valores médios obtidos no presente trabalho com os valores indicados pela literatura pertinente, verifica-se que todas as espécies de *Pinus* tropicais apresentam valores médios no intervalo de variação relatado por Stamm (1964), que afirma que o pH da madeira varia entre 3,0 e 5,5. Em função destes resultados e baseado nas informações de Albin (1975) é possível afirmar que nenhuma das espécies possui acidez excessivamente alta ou baixa.

Em relação à influência da propriedade pH sobre os processos de industrialização da madeira, pode-se dizer que seu maior efeito é evidenciado em sistemas onde possa haver a corrosão de metais e principalmente na colagem de madeiras e aplicação de tintas e vernizes durante o processo de acabamento.

A influência do pH sobre a colagem de madeiras é estudada por muitos autores, como por exemplo, Kollmann, Kenzi e Stamm (1975); Fengel e Wegener (1989), Pizzi (1994), Poblete e Pinto (1993), Lebow e Winandy (1998); Nussbaun e Sterley (2002). Binder (1967) relatou que a acidez da madeira determina a taxa de cura da resina e auxilia imensamente na determinação do tempo de prensagem, e Kollmann, Kenzi e Stamm (1975) complementaram que a influência que o pH exerce sobre a solidificação do adesivo pode ser controlado.

Assim, madeiras que possuem pH com baixa acidez requerem a adição de um catalisador externo para acelerar a cura quando a colagem é efetuada com resina uréia-formaldeído (UF), a qual polimeriza em meio ácido, com pH entre 3,0 e 3,5. A adição do catalisador irá promover reações de acidificação acelerando a cura da resina e com isso reduzindo os custos de prensagem do painel e aumentando a produtividade. Por outro lado, espécies que apresentam acidez excessiva, quando submetidas ao processo de colagem podem resultar numa linha de cola com pré-cura, podendo ser tecnicamente inviáveis para a produção de produtos colados.

Comparando com resultados médios obtidos por outros pesquisadores, é possível verificar que Prata (2010) estudando a viabilidade de utilização destas mesmas espécies (exceto *Pinus caribaea* var. *bahamensis* e *Pinus caribaea* var. *caribaea*) para a produção de painéis colados lateralmente (EGP), obteve resultados similares ao desta pesquisa, onde os valores encontrados pelo referido autor variaram no intervalo de 4,0 a 4,7.

6.5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos no presente capítulo, as seguintes conclusões podem ser apresentadas:

- Todas as espécies apresentaram resultados médios dos componentes químicos compatíveis aos valores de referência e aos demais resultados apresentados pela literatura.
- O menor e maior valor médio do teor de lignina foi apresentado pelas espécies *Pinus maximinoi* e *Pinus chiapensis*, respectivamente. Todas as espécies apresentam valores médios próximos ao apresentado pela espécie testemunha, *Pinus taeda*.
- Entre as espécies de *Pinus* tropicais, o maior valor médio para a propriedade de extrativos totais foi apresentado pelo *Pinus chiapensis* (8,82%), já o menor resultado médio foi encontrado a partir do *Pinus maximinoi* (4,76%). Não foi observada espécie com teor de extrativos inferior a espécie testemunha, indicando desta forma, que as espécies de *Pinus* tropicais podem apresentar mais problemas durante o processamento e utilização, quando comparadas com o *Pinus taeda*.
- Todas as espécies apresentaram baixos valores médios de materiais inorgânicos, o que indica que estas espécies não promovem o desgaste excessivo das ferramentas de corte, durante o processo de industrialização.
- Em relação à variável holocelulose, entre as espécies de *Pinus* tropicais o maior valor médio foi obtido a partir do *Pinus maximinoi*, indicando possivelmente, a espécie com maior rendimento em celulose.
- Todas as espécies apresentaram valores do potencial hidrogeniônico similares entre si (4,17 a 4,71) e compatíveis com os valores de referência apresentados pela literatura pertinente.

6.6 REFERÊNCIAS

ABREU, H.S.; CARVALHO, A.M.; OLIVEIRA, M.B.M.; PEREIRA, R.P.W.; SILVA, H.R.; SOUZA, K.C.A.; AMPARADO, K.F.; CHALITA, D.B. Métodos de análise em química da madeira. **Floresta e Ambiente**, Série técnica, p. 1-20, 2006.

ALBIN, R. A. Determinacion del pH en diversas species de los renovales de La provincial de Valdivia. **Bosque**, v. 1, n. 1, p. 3-5, 1975.

ANDRADE, A. S. **Qualidade da madeira, celulose e papel em *Pinus taeda* L.: influência da idade e classe de produtividade**. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

ANDRADE, M.C.N.; MINHONI, M.T.A.; SANSIGOLO, C.A.; ZIED, D.C. Análise química da madeira e casca de diferentes tipos de eucalipto antes e durante o cultivo de shiitake em toras. **Árvore**, v.34, n.1, p. 165-175, 2010.

ANDRADE, M.C.N.; MINHONI, M.T.A.; SANSÍGOLO, C.A.; ZIED, D.C.; CAMPOS, C.S Estudo comparativo da constituição nutricional da madeira e casca de espécies e clones de Eucalipto visando o cultivo de Shiitake em toras. **Árvore**, v. 35, n.2, p. 183-192, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14853**. Determinação do material solúvel em etanol:tolueno e em diclorometano. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7989**. Determinação da lignina insolúvel em ácido. 2003.

BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J.O. **Química da madeira**. Piracicaba, SP, ESALQ, 1985. 125p.

BARRICHELLO, L.E.G. **Estudo das características físicas, anatômicas e químicas da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. E Golf. para a produção de celulose Kraft**. 167 f. Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura Luis de Queiróz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1979.

BIERMANN, C.J., **Handbook of Pulping and Papermaking**. San Diego. Academic Press. ed.2, 754p. 1996.

BINDER, K. A. Resin application and quality in particleboard manufacture. In: **Symposium on Particleboard**, 1st, 1967, p. 235-250.

BORTOLETTO JUNIOR, G. **Estudo da qualidade da madeira de *Pinus taeda* L. provenientes de árvores adultas atingidas por incêndio florestal.** 173 f. Tese. (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

BRITO, J.O.; NUCCI, O. Estudo tecnológico da madeira de *Pinus spp* para a produção de carvão vegetal e briquetagem. *IPEF*, n. 26, p. 25-30, 1984.

BROWNING, B.L. **The Chemistry of wood.** New York, John Wiley & Sons, 1963. 689p.

CLOUTIER, A. Oriented Strand Board (OSB): Raw material, manufacturing process, properties, and uses. In: Seminário Internacional sobre Produtos Sólidos de Madeira de Alta Tecnologia e Encontro sobre Tecnologia Apropriadas de Desdobro, Secagem e Utilização da Madeira de Eucalipto, 1., 1998, Belo Horizonte. **Anais.** Belo Horizonte, 1998. p. 173-185.

FENGEL, D. WEGENER, G. **Wood Chemistry, ultrastructure reactions.** Berlin, 1989, 612 p.

FOELKEL, C.E.B. Celulose kraft de *Pinus spp*. **O Papel.** ABCP, São Paulo, p.49-67. 1976.

FOSTER, W. G. Species variation. Symposium on Particleboard, 1st **Proceedings**, Washington State University, 1967, p. 13- 20.

GODOY, E.A.; RODRIGUES, J.C.C.; ALVES, A.M.M.; LAZO, D.A. Estudio del contenido y la calidad de la lignina mediante pirólisis analítica en madera de *Pinus caribaea*. **Maderas, Ciencia e Tecnologia**, v. 9, n. 2, p. 179-188, 2007.

GOLDSTEIN, I. S. Overview of the chemical composition of wood. p. 1-5 1991. In: International Fiber Science and technology, **Proceedings**, v. 11, 1991, 488p.

HIGUCHI, T. **Biochemistry and molecular biology of wood.** Berlin: Springer, c1997. 362p.

HILLIS, W. E.; BROWN, A. G. **Eucalyptus for wood production.** Melbourne: CSIRO, 1978. 434p.

JANKOWSKY, I. P. **Colagem de madeiras.** Piracicaba: ESALQ, 1988. 45 p.

JONHS, W.; NIAZI, K. Efectt of pH and buffering capacity of Wood and the gelation time of urea-formaldehyde resin. **Wood Fiber Science**, v. 12, p. 255-263, 1980.

KLOCK, U. **Qualidade da Madeira de *Pinus maximinoi* H. E. Moore**. 291 f. Tese, (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

KLOCK, U.; MUNIZ, G.I.; HERNADEZ, J.A.; ANDRADE, A.S. **Química da madeira**, Manual didático. 3ª Ed. UFPR, 2005, 86p.

KOCH, P. Utilization of the Southern pines. Madison: USDA, Forest Service Agricultural. **Handbook**, 1972, 420 p.

KOLLMANN, F.; KENZI, P.; STAMM, A.; **Principles of wood science and technology II. Wood based materials**, 703p. New York, USA, 1975.

LEBOW, S. T.; WINANDY, J. E. The role of grade and thickness in the degradation of fire-retardant-treated plywood. **Forest Products Journal**, v. 48, n. 6, p. 88–94, 1998.

LIMA, C. MORI, F.A.; MENDES, L.M.; CARNEIRO, A.C.O. Características anatômicas e química da madeira de clones de *Eucalyptus* e sua influência na colagem. **Cerne**, v. 13, n. 2, p. 123-129, 2007.

MARRA, A.A. **Technology of Wood bonding**: principles and practice. Nova York, Van N. Reinhold, 1992, 454p.

MENDES, L.M. ***Pinus spp.* na produção de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 163 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

MORAIS, S.A.L.; NASCIMENTO, E.A.; MELO, D.C. Análise da madeira do *Pinus oocarpa* Parte I: estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis. **Árvore**, v. 29, n.3, p. 461-470, 2005a.

MORAIS, S.A.L.; NASCIMENTO, E.A.; MELO, D.C. Análise da madeira do *Pinus oocarpa* Parte II: caracterização estrutural da lignina de madeira moída. **Árvore**, v. 29, n.3, p. 471-478, 2005b.

NUSSBAUM M. R., STERLEY, M. The effect of wood extractive content on glue adhesion and surface wet- tability of wood. **Wood Fiber Science**, v. 34, n. 1, p. 57–71, 2002.

OLIVEIRA, J.T.S.; SOUZA, L.C.; DELLA LUCIA, R.M.; SOUZA JUNIOR, W.P. Influência dos extrativos na resistência ao apodrecimento de seis espécies de madeira. **Árvore**, v. 29, n. 5, p. 819-826, 2005.

PHILIPP, P.; D'ALMEIDA, M. L.O. Celulose e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica. 2. ed. São Paulo: IPT, 1988. 964 p.

PIZZI, A. **Advanced wood adhesives technology**. Nova York, M. Dekker, 1994, 285p.

POBLETE, H. W.; PINTO, A. S. Avances sobre el efecto del catalizador em el fraguado de ureaformaldeido em tableros de tepa. **Bosque** v. 14, n. 1, 55-61, 1993.

PRATA, J.G. **Estudo da viabilidade tecnológica do uso de espécies de Pinus tropicais para produção de painéis colados lateralmente (Edge Glued Panels – EGP)**. 111 f. Tese. (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

SAKA, S. Structure and Chemical composition of Wood as a natural composite material. Recent Research on Wood and Wood based materials. **Current Japanese Materials Research**, v. 11, 1993, p. 1-20.

SANSÍGOLO, C. A.; BARREIROS, R. M. Estudo comparativo das madeiras de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa* para produção de celulose Kraft. In: III CONGRESO IBEROAMERICANO EN CELULOSA Y PAPEL, 2004, Cordoba. **Anais... CIADICYP**, 2004.

SEVERO, E.T.D.; CALONEGO, F.W.; SANSÍGOLO, C.A. Composição química da madeira de *Eucalyptus citriodora* em função das direções estruturais. *Silva Lusitana*, v. 14, n.1, p. 113-126, 2006.

SHIMOYAMA, V. R. S.; WIECHETECK, M. S. S. Características da madeira e da pasta termomecânica de *Pinus patula* var. *tecunumanii* para produção de papel imprensa. **IPEF**, v. 9, n. 27, p. 63-80, 1993.

SILVA, J.C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira**. Curitiba, 160f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

SJÖSTRÖM, E. **Wood chemistry**. Nova York: Academic Press, 1981. 223p.

STAMM, A. J. **Wood and cellulose science**. The Ronald Press Company – New York, 1964, 549p.

STATGRAPHICS. Centurion XVI **User Manual**. by StatPoint Technologies, Inc. 2009.

STEWART, M. C.; KOTTEK, J.F.; DADSWELL, H.E.; WATSON, A.J. The process of fiber separation III. Hydrolytic degradation within living trees and its effects on the mechanical pulping and other properties of wood. **TAPPI** 44 p. 798-813, 1961.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI 264**. Preparation of wood for chemical analysis. Atlanta, 1997.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI 207**. Water solubility of wood and pulp. Atlanta, 1999.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI 211**. Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525°C. Atlanta, 2002.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI 212**. One percent sodium hydroxide solubility of wood and pulp. Atlanta, 2002.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI 252**. pH and electrical conductivity of hot water extracts of pulp, paper, and paperboard. Atlanta, 2002.

TRIANOSKI, R. **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada** 262 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

TRUGILHO, P.F.; LIMA, J.T.; MENDES, L.M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, v. 2, n. 1, p. 94-111, 1996.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties and utilization**. New York, 1991. 494 p.

CAPÍTULO 7

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

CAPÍTULO 7

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

7.1 INTRODUÇÃO

O conhecimento das propriedades físicas da madeira é de fundamental importância, pois está associado às diversas formas de transformação industrial, bem como às variadas formas de utilização deste material em diferentes produtos.

Entre as propriedades físicas, a massa específica se destaca como de fundamental importância, pois dela dependem a maior parte de outras propriedades da madeira, além de expressar sua qualidade ao uso final e seu comportamento nos processos tecnológicos e industriais.

Em função desta importância, bem como pela facilidade de determinação, esta propriedade tornou-se amplamente difundida, muito estudada, e constantemente utilizada em outras áreas florestais, como por exemplo, no melhoramento florestal para evidenciar o potencial de seleção de espécies e procedências, no manejo florestal para determinar o tipo de prática a ser aplicada em função do produto final e a produtividade da floresta em termos de quantidade de madeira seca por hectare, e na economia como subsídio para avaliação econômica da floresta.

Outra propriedade física de grande relevância é a retratibilidade, a qual é responsável pela diferenciada alteração dimensional nos diferentes planos anatômicos da madeira, que se reflete nos principais defeitos de secagem.

As alterações dimensionais e a anisotropia de contração elevadas são características indesejáveis na madeira, limitando o seu uso para diversas finalidades e exigindo técnicas adequadas de processamento e utilização. Desta forma, o estudo e o conhecimento do comportamento destas alterações dimensionais em diferentes espécies, sobretudo nas de rápido crescimento, é

essencial para sua correta utilização industrial, tanto na construção civil, como na produção de móveis e outros produtos de maior valor agregado.

Por outro lado, tanto a massa específica quanto a retratibilidade são afetadas por uma série de fatores, como por exemplo, espécie, teor de umidade, madeira juvenil, percentual de lenho tardio, entre outros.

Em relação ao fator espécie, a variabilidade das propriedades físicas está relacionada ao fato de que diferentes espécies apresentam estruturas internas distintas, com ocorrência de elementos anatômicos em diversos tamanhos e proporções, e nos mais variados arranjos estruturais, o que resulta em comportamento e propriedades finais diferenciados.

No que tange a umidade, embora esta não seja uma característica intrínseca da madeira, sua determinação é indispensável por se tratar de um parâmetro que afeta diretamente a massa específica, além de ser a principal responsável pelas alterações dimensionais e exercer acentuada influência sobre as propriedades mecânicas e sobre o comportamento da madeira durante todas as suas fases de processamento.

Já a influência da madeira juvenil sobre as propriedades físicas da madeira, está relacionada ao rápido crescimento, onde algumas espécies atingem tamanhos para comercialização ainda muito jovens. Esta elevada taxa de crescimento promove divisões celulares muito rápidas, gerando massa específica mais baixa, maior ângulo microfibrilar, menor percentual de lenho tardio, maior proporção de lenho de reação e propriedades químicas muito variáveis, as quais geram propriedades físicas e mecânicas inferiores, e especialmente no caso das físicas, mais instáveis. Ocorrendo de forma mais acentuada em coníferas, a madeira juvenil torna-se um problema significativo, trazendo como consequência, problemas na qualidade dos produtos gerados.

Em referência ao lenho tardio, sua influência se deve ao fato de que elevados percentuais promovem um aumento significativo na massa específica, a qual reflete em todas as demais propriedades da madeira.

Devido a importância do conhecimento das propriedades físicas da madeira, sobretudo em espécies de rápido crescimento, as quais têm se tornando uma importante fonte de suprimento para a indústria de base florestal, tanto pelo

aumento do volume ofertado como pelo aumento da diversidade de matéria prima, este capítulo tem como objetivo fornecer informações adicionais a respeito das propriedades físicas de sete espécies de Pinus tropicais

7.1.1 Objetivo geral

Avaliar as propriedades físicas de sete espécies de Pinus tropicais.

7.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar a massa específica, a proporção de madeira juvenil e o percentual de lenho tardio e sua variação longitudinal nas diferentes espécies de Pinus tropicais.
- Avaliar as propriedades de estabilidade dimensional das espécies.
- Estabelecer correlações entre as propriedades físicas determinadas neste capítulo para diferentes espécies de Pinus tropicais com: a velocidade de propagação das ondas de tensão nas árvores em pé e toras (Capítulo 3) e as características de crescimento (Capítulo 4).

7.2 REVISÃO DE LITERATURA

A importância das propriedades físicas da madeira está relacionada às mais diversas utilizações, tanto nas que requerem resistência mecânica e estabilidade dimensional, quanto nas aplicações que envolvem processamento mecânico, tratamentos de preservação, acabamentos, rendimento de celulose, capacidade energética, entre outros.

Entre as propriedades físicas, a que se destaca como de fundamental importância para a produção tecnológica é a massa específica, a qual na maioria das vezes está correlacionada com outras propriedades (GONÇALVEZ *et al.* 2009), e indica o potencial de utilização da madeira (HANS, 1974).

Por outro lado, as propriedades de contração e inchamento são também de elevada importância, principalmente quando se utiliza a madeira em produtos sólidos. Estas propriedades afetam diretamente a estabilidade dimensional e podem inviabilizar a geração de determinados produtos, como pisos, esquadrias, móveis, portas e outros produtos de maior valor agregado (REMADE, 2001).

Desta forma, serão abordadas com maior ênfase neste capítulo, as propriedades massa específica e retratibilidade, bem como os principais fatores que exercem influência sobre elas.

7.2.1 Massa específica

A massa específica é uma das propriedades mais importantes para avaliar a qualidade da madeira, (KOLLMANN, 1959; KOLLMANN; CÔTÉ, 1968; FOELKEL; MORA; MENOCELLI, 1990; PINHEIRO, 1999; QUEIROZ *et al.*, 2004; KLOCK, 2000; DIAS; LAHR, 2004; PALERMO *et al.*, 2004; CHIES, 2005), fornecendo inúmeras informações sobre as suas características e sua relação com as demais propriedades (GARCIA, 1995; PINHEIRO, 1999; MOURA; FIGUEIREDO, 2002; QUEIROZ *et al.*, 2004; LAHAR, 2004; CASTELO, 2007), além de determinar, muitas

vezes, a sua utilização final (MOURA, 1983; KLOCK, 2000; DIAS; LAHR, 2004; PALERMO *et al.*, 2004; CHIES, 2005; CASTELO, 2007; TRIANOSKI, 2010).

A massa específica é o ponto de partida no estudo da qualidade da madeira para as mais diversas formas de utilização. Xavier, Matos e Trianoski (2008) relatam que através dela pode-se prever ou estimar o comportamento da madeira e o conhecimento desta propriedade auxilia na otimização da produção da madeira e dos tratos silviculturais. Rosado e Brune (1983) mencionam que a massa específica além de estar relacionada com a produtividade das florestas, orienta a elaboração e a condução dos planos de corte e Trugilho *et al.* (1990), conclui que pode ser um subsídio para avaliação econômica da floresta.

Em termos de processamento industrial, é considerada pelas indústrias de base florestal, como uma das mais importantes propriedades, por ser de fácil determinação e por estar correlacionada com rendimentos e características de diversos produtos, além de ser alterada através de tratos silviculturais e manipulada geneticamente (ZOBEL, 1961; SHIMOYAMA, 2005).

Devido à constituição de cada planta, cada espécie possui uma massa específica própria (PINHEIRO, 1999), sendo este parâmetro, o resultado do processo fisiológico das plantas e da complexa combinação dos elementos anatômicos e químicos e sua distribuição no lenho (KOLLMANN; COTÊ 1968; PANSHIN; DE ZEEUW, 1980; KLOCK, 1989; SHIMOYAMA, 1990; TSOUMIS, 1991; BURGER; RICHTER, 1991; KLOCK, 2000; LOPES; GARCIA, 2002; SHIMOYAMA, 2005; CASTELO, 2007). Koch (1972) e Wahlgren e Schuman (1972) sugerem ainda, que a mesma é influenciada principalmente pela largura dos traqueóides, proporção de lenho inicial e tardio, e quantidade e constituição dos extrativos.

Em termos de caracterização tecnológica, tanto de espécies desconhecidas quanto de espécies já estudadas (onde se busca avaliar algum parâmetro específico ou a influência de algum fator, como por exemplo, idade, sitio, procedência, práticas silviculturais ou manejo, entre outros) a determinação da massa específica é fundamental devido sua influência na resistência mecânica e na estabilidade dimensional, sendo esta determinação e avaliação, um dos objetivos do presente trabalho.

7.2.1.1 Fatores que afetam a massa específica

Muitos são os fatores que afetam a massa específica devido a natureza orgânica e heterogênea da madeira, no entanto, serão descritos neste item, os fatores que estão relacionados diretamente aos assuntos abordados neste capítulo, como espécie, teor de umidade, madeira juvenil, lenho inicial e tardio.

7.2.1.1.1 Espécie

A massa específica varia de uma espécie para outra, assim como dentro da mesma espécie e da mesma árvore, tanto no sentido base-topo como no sentido medula-casca (KOLLMANN, 1959; PANSHIN; DE ZEEUW, 1980; KLOCK, 2000).

Esta variabilidade se deve ao fato de que as espécies apresentam estruturas internas distintas, com ocorrência de elementos anatômicos em diversos tamanhos e proporções, e nos mais variados arranjos estruturais (BRITO; BARRICHELO, 1979; PANSHIN; DE ZEEUW, 1980; TSOUKIS, 1991; BOWYER; SHMULSKY; HAYGREEN, 2003), as quais estão condicionadas as características genéticas das árvores (PINHEIRO, 1999).

A variação da massa específica ocorre também dentro de uma mesma espécie, nas quais, condições de herança genética, influência fisiológicas, mecânicas e do ambiente, atuam sobre a qualidade da madeira, portanto, sobre a massa específica, em particular (KOLLMANN, 1959).

Spurr e Hyvarinen (1954) complementam as variações na massa específica entre árvores e dentro da mesma árvore, afirmando que este fato se deve ao resultado diferenciado no volume de poros bem como na presença e quantidade de extrativos, porém, segundo estes autores, não existe um padrão definido para estas variações dentro de uma árvore, mas uma tendência geral ao longo do fuste, no sentido medula-casca e com a idade.

Como exemplo para demonstrar a grande variabilidade da massa específica a partir deste fator, na Tabela 7.1 são apresentados valores desta propriedade para

diferentes espécies, dando-se ênfase às do gênero *Pinus*, visto sua grande utilização como matéria prima para as indústrias de base florestal e pela utilização deste gênero no desenvolvimento deste trabalho.

TABELA 7.1 - MASSAS ESPECÍFICAS DE DIFERENTES ESPÉCIES DO GÊNERO *Pinus*

Espécie	ME (g/cm³)	Idade (anos)	Fonte
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	0,355	8-9	BRITO; NUCCI, 1984
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	0,480	11	BRITO, 1985
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	0,497	12	MOURA; PARCA; SILVA, 1991
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	0,350	6	BARNES <i>et al.</i> , 1977
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	0,361	5	AMARAL; FERREIRA; COUTO, 1977
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	0,546		BANKS, 1977
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	0,370	11	MENDES, 2001
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	0,460	18	CASTRO, 2011
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	0,470	21	RIBEIRO, 2009
<i>Pinus chiapensis</i>	0,370	11	MENDES, 2001
<i>Pinus chiapensis</i>	0,419	14	MALAN, 2001
<i>Pinus maximinoi</i>	0,456	10,5	WRIGHT; MALAN; 1991
<i>Pinus maximinoi</i>	0,410	10	KLOCK, 2000
<i>Pinus maximinoi</i>	0,380	11	MENDES, 2001
<i>Pinus oocarpa</i>	0,396	9	BRITO; NUCCI, 1984
<i>Pinus oocarpa</i>	0,437	20	SANSÍGOLO; BARREIROS, 2004
<i>Pinus oocarpa</i>	0,504	23	MORAES NETO; MELO, 2008
<i>Pinus tecunumanii</i>	0,445	12	SHIMOYAMA; WIECHETECK, 1993
<i>Pinus tecunumanii</i>	0,466	12	TORRES; MELLO; COLODETTE, 2005
<i>Pinus tecunumanii</i>	0,414	23	MORAES NETO <i>et al.</i> , 2009b
<i>Pinus taeda</i>	0,424	21	CHIES (2005)
<i>Pinus taeda</i>	0,501	28	SHIMOYAMA (2005)
<i>Pinus taeda</i>	0,440	18	CASTELO (2007)

NOTA: Influências relacionadas à localização geográfica, sítio de crescimento, procedências e outros, não devem ser descartadas em uma análise comparativa.

7.2.1.1.2 Teor de umidade

A massa específica da madeira como mencionado anteriormente é uma propriedade de grande relevância, e depende de dois fatores: da massa do xilema, o qual é influenciada pelo arranjo anatômico e pela constituição química, e da umidade retida na madeira. A umidade afeta a massa e o volume do material.

O teor de umidade em uma árvore pode variar de 30% a 300%, onde esta variação é influenciada por diferentes fatores, como espécies, posição na árvore e época do ano (TSOUMIS, 1991). Assim, a determinação da massa específica em diferentes teores de umidade varia significativamente, e por isso, deve ser apresentada com a referência da condição da umidade em que foi avaliada (JERROLD,1994).

Para melhor compreender e quantificar esta influência, na Tabela 7.2 é demonstrado o comportamento da massa específica da madeira de acordo com a variação do teor de umidade.

TABELA 7.2 – INFLUÊNCIA DO TEOR DE UMIDADE SOBRE A MASSA ESPECÍFICA DA MADEIRA

Espécie	Teor de umidade					
	Seca	10%	20%	30%	50%	100%
	Massa específica (g/cm³)					
Balsa	0,130	0,139	0,148	0,156	0,180	0,240
Spruce	0,410	0,432	0,451	0,469	0,541	0,722
Pinus	0,490	0,515	0,537	0,558	0,643	0,858
Larix	0,570	0,600	0,628	0,653	0,749	0,998
Faia	0,700	0,719	0,736	0,750	0,866	1,154
Carvalho	0,820	0,836	0,850	0,861	0,994	-

Fonte: Tsoumis (1991)

O conhecimento da relação entre estas duas propriedades é de fundamental importância, já que afeta os diferentes processos industriais e exerce grande influência sobre as alterações dimensionais e sobre as propriedades mecânicas (KOLLMANN, 1959).

7.2.1.1.3 Madeira juvenil

A influência da madeira juvenil sobre a massa específica tem grande associação com a idade, e ocorre principalmente em árvores de regiões tropicais e subtropicais, devido ao crescimento muito rápido, atingindo tamanhos para comercialização ainda muito jovem (PEARSON; GILMORE, 1980).

Segundo Zobel (1981), nas florestas naturais de clima temperado, a madeira juvenil, normalmente se restringe a uma pequena região do tronco ou do volume da árvore, o que não ocorre nas florestas plantadas, especialmente nas localizadas em regiões tropicais e provenientes de desbastes ou de plantações de curta rotação. Panshin e De Zeew (1980) corroboram afirmando que nas plantações de rápido crescimento, principalmente do gênero *Pinus* e *Eucalyptus*, dependendo da idade de corte e do uso final, as árvores apresentam 100% de madeira juvenil.

Assim, a madeira juvenil é definida como a madeira localizada próximo a medula da árvore, se estendendo desde a base até o topo e podendo fazer parte do cerne, caso este esteja presente, e do alburno (SENF; BENDSTEN; GALLIGAN, 1985; KRAHMER, 1986; ZOBEL; BUIJTENEN, 1989; COWN, 1992; EVANS; SENFT; GREEN, 2000; KLOCK, 2000), com aumento progressivo das dimensões das células, bem como pela mudança das suas características e do arranjo celular. Em contrapartida, a madeira adulta apresenta células que alcançam as dimensões máximas e se mantêm relativamente constantes, padrão físico bem desenvolvido e comportamento estável, exceto quando passam por drásticas condições ambientais (JANKOWSKY, 1979; ZOBEL, 1981; HILLIS; BROWN, 1984; ZOBEL; BUIJTENEN, 1989). Em conclusão a variabilidade de propriedades, Zobel (1980) afirma que quase todas as propriedades físicas e químicas da madeira juvenil são muito variáveis, e que na madeira adulta são praticamente constantes.

De acordo com Cown (1980) e Zobel (1981) a madeira juvenil pode ser identificada como aquela formada até o 10° anel de crescimento, no entanto, Cown (1980) complementa que a mesma pode se estender até o 15° anel, e Zobel (1981) corroboram com a possível variabilidade da formação da madeira juvenil, relatando que a madeira adulta pode ser formada no intervalo do 7° ao 20° anel de crescimento.

A demarcação entre lenho juvenil e adulto não é clara, e de acordo com Zobel (1980) não há uma mudança absoluta da madeira juvenil para a madeira adulta em um ano, mas em vários. Tal região é então denominada de região de transição. Bendtsen e Senft (1986) afirmam esta falta de demarcação clara e absoluta se deve às mudanças graduais nas células, onde o comprimento dos traqueóides pode atingir uma estabilidade antes da espessura da parede.

Considerando as principais diferenças entre a madeira juvenil e a madeira adulta, bem como as informações relatadas por Duffield (1961) que menciona que o conhecimento da variação de propriedades dentro das espécies é incompleto devido a multiplicidade e interação das causas de variação dentro das mesmas, as seguintes características podem ser estabelecidas de acordo com a literatura especializada no assunto:

A madeira juvenil normalmente apresenta fibras ou traqueóides mais curtos e massa específica mais baixa, maior ângulo microfibrilar na camada S_2 da parede celular, parede celular mais fina, menor percentual de lenho tardio, contração nos planos tangencial e radial é menor e contração longitudinal mais acentuada, maior proporção de lenho de reação, maior teor de lignina e hemicelulose o que gera menor quantidade de celulose. Em função destas características, as propriedades mecânicas são mais baixas, e especialmente no caso das propriedades físicas, mais instáveis. Em oposição, a madeira adulta apresenta fibras ou traqueóides mais longos, a massa específica é mais elevada quando comparada com a madeira juvenil, e devido a estas características a qualidade da madeira é superior, tanto em termos de estabilidade como de resistência (BENDSTEN, 1978; PANSHIN; DE ZEEUW, 1980; ZOBEL, 1981; ZOBEL, 1984, SENFT; BENDSTEN; GALLIGAN, 1985; ZOBEL; BUIJTENEN, 1989; KLOCK, 2000).

De acordo com Ballarin e Nogueira (2005), a madeira juvenil ocorre tanto nas coníferas como nas folhosas, no entanto, nas coníferas este fenômeno é mais pronunciado. Como exemplo, Dadswell (1958), Panshin e De Zeew (1980) e Zobel (1981) relatam que o comprimento dos traqueóides na madeira adulta das coníferas pode ser até quatro vezes maior do que na madeira juvenil, enquanto nas folhosas o comprimento das fibras pode aumentar até duas vezes mais na madeira adulta em relação à madeira juvenil.

Desta forma, pode-se concluir que nas coníferas a madeira juvenil é considerada um problema significativo, influenciando totalmente na qualidade da madeira. Independente do grupo produtor de madeira, Brown e McWilliams (1989) afirmam que o rápido crescimento nas florestas plantadas produz madeira de qualidade inferior para uso em produtos sólidos, e que atualmente, devido ao grande consumo desta matéria prima pelas indústrias de base florestal para suprir seus processos, a quantidade de madeira juvenil comercializada é grande, trazendo como resultados, problemas na qualidade dos produtos sólidos gerados com ela.

7.2.1.1.4 Lenho inicial e lenho tardio

Os anéis de crescimento estão relacionados com o crescimento de uma árvore. A madeira é produzida num ciclo anual por uma camada de tecido regenerativo cambial, que se situa no interior da casca, e envolve completamente o tronco, galhos e raízes das árvores, onde durante cada estação de crescimento, uma nova camada de tecido lenhoso é sobreposto a madeira existente (KLOCK, 1989). De acordo com Zimmermann e Brown (1974) a formação dos anéis de crescimento é afetada pelos fatores ambientais através da formação da auxina, produzida durante o período de brotação e alongação das acículas. Nestes anéis, dispõem-se de forma ordenada, os diferentes tipos de células, formando as zonas características de lenho inicial e lenho tardio (PINHEIRO, 1999).

O lenho inicial corresponde ao crescimento da árvore no período vegetativo, quando as plantas despertam do ciclo de dormência, reassumindo suas atividades fisiológicas com todo vigor. As células da madeira formada nesta ocasião

caracterizam-se por suas paredes finas e lumens grandes que conferem ao conjunto uma coloração clara. Com a aproximação do fim do período vegetativo, as células vão diminuindo gradativamente sua atividade fisiológica, em consequência as paredes das células vão se tornando gradualmente mais espessas e os lumens menores, distinguindo-se do lenho anterior por apresentarem uma tonalidade mais escura (BURGER; RICHTER, 1991). Em complemento, Brown, Panshin, e Forsaith (1952), acrescentam que este processo fisiológico gera uma maior quantidade de material lenhoso por unidade de volume, quando comparado com o lenho inicial. Em função disso, o lenho tardio quando comparado com o inicial se caracteriza por apresentar maior massa específica em si (BRITO; BARRICHELO, 1978).

Como consequência, é natural se esperar que quanto maior for o percentual de lenho tardio maior será a massa específica de uma dada seção ou mesmo da árvore toda. Klock (2000) e Florsheim (2010) acrescentam que a variação do percentual de lenho tardio é coincidente com a da massa específica, tanto no sentido transversal como no sentido longitudinal da árvore, diminui com a altura e aumenta no sentido medula-casca, onde para espécies do gênero *Pinus* esta relação é ainda mais acentuada.

Os percentuais de lenho inicial e tardio apresentam elevada importância frente a diversas propriedades, sendo uma variável frequentemente observada em numerosos estudos sobre a qualidade da madeira (LUCAS FILHO, 1997).

Um aumento da massa específica se reflete em todas as demais propriedades físicas (KOCH, 1972), como já mencionado, e nas propriedades mecânicas apresenta significativa afinidade com as propriedades de resistência (GURFINKEL, 1973; MORESCHI, 1975).

Nos processos de produção de madeira serrada e laminados, a relação entre lenho inicial e lenho tardio pode apresentar problemas na resistência mecânica, na dureza do material e, inclusive problemas durante a secagem (SHIMOYAMA, 2005). Já na produção de celulose e papel, uma maior quantidade de lenho tardio irá apresentar um maior teor de holocelulose e menor lignina e esta maior proporção consequentemente resultará em um maior rendimento em celulose e devido ao fato de possuir menos lignina necessitará de menores quantidades de reagentes para o cozimento (BRITO; BARRICHELO, 1978).

Outra característica relacionada aos anéis de crescimento diz respeito a sua largura e uniformidade. De acordo com Klock (2000) e Castelo (2007) na maioria das coníferas a largura do anel é facilmente identificável em corte transversal e pode indicar muitas características de comportamento. Por outro lado, a largura do anel de crescimento não constitui uma escala muito segura (KLOCK, 1989), onde Gurfinkel (1973) complementa que a proporção de lenho tardio tem influência mais direta nas propriedades da madeira e conseqüentemente no seu comportamento.

A largura e uniformidade dos anéis de crescimento são influenciadas pelas condições de crescimento da árvore, onde mudanças abruptas nestas condições contribuem para um crescimento não uniforme ao longo do tempo (LARSON; NICHOLS; DADSWELL, 2001). Assim, para se obter madeira com anéis mais regulares é importante controlar a taxa de crescimento ou o incremento anual. Segundo Matos (1997) este controle, em parte, pode ser efetuado por meio de práticas silviculturais, as quais provoquem alterações na velocidade de crescimento.

Avaliar os anéis de crescimento e o percentual de lenhos inicial e tardio possui elevada relevância, pois é uma importante fonte de informações sobre a qualidade da madeira. Isso é justificado pelo fato de que os lenhos que compõem o anel de crescimento sofrem variações profundas em suas características em função das diferentes condições de crescimento anual, e que quase sempre ocorrem também marcadas diferenças nas propriedades de suas madeiras (BRITO, 1985).

7.2.1 Retratibilidade

A madeira é um material orgânico, de estrutura complexa, heterogênea, altamente higroscópica, e que altera suas dimensões de acordo com a umidade do ambiente (BOWYER, SHMULSKY; HAYGREEN, 2003).

Estas variações ocorrem até um valor fixo de umidade, que para a maioria das espécies varia entre 28% e 30%, e é denominado de ponto de saturação das fibras (PSF) (CHIES, 2005). Skaar (1972) afirma que o ponto de saturação das fibras pode variar entre 25% e 35% de umidade, dependendo da espécie e do teor de extrativos.

Estas alterações ocorrem devido a retirada ou a inclusão de moléculas de água nos espaços submicroscópicos da parede celular, fazendo com que as micelas se aproximem ou se afastem umas das outras, alterando as dimensões da madeira. A retirada de umidade proporciona a contração, e a inclusão de moléculas de água ocasiona o inchamento (BOWYER, SHMULSKY; HAYGREEN, 2003; KLITZKE, 2007).

Os maiores valores de alterações dimensionais ocorrem no sentido tangencial aos anéis de crescimento, seguida do sentido radial e por último pelo sentido longitudinal, onde neste, as variações são praticamente desprezíveis (PANSHIN; DE ZEEW, 1980). Segundo estes mesmos autores, as contrações longitudinais e transversais estão relacionadas com a quantidade de matéria lenhosa, com o ângulo microfibrilar nas paredes das células e com a lignificação da parede celular. Kollmann e Côté (1968) complementam que a diferença entre contração tangencial e radial é explicada em grande parte pela restrição dos raios no sentido radial, e no caso das coníferas, pelo diferente arranjo helicoidal das microfibrilas nas paredes tangenciais e radiais, onde nas paredes radiais dos traqueóides existem de 50 a 300 pontoações, razão pela qual as microfibrilas são desviadas do seu curso normal.

Já a pequena alteração no sentido longitudinal é explicada pelo fato de que a maioria dos elementos estruturais constituintes da madeira está organizada verticalmente, o que faz com que o número de paredes por cm^2 seja bem menor neste sentido. Além disso, cada fibra de madeira tende a se contrair pouco no sentido axial, devido à inclinação das microfibrilas de celulose constituintes da parede celular propiciarem a contração da célula em sua seção, e não na direção do seu comprimento (KLOCK, 2000; KLITZKE, 2007)

A grandeza de contração entre o ponto de saturação das fibras e o estado completamente seco para a maioria das espécies varia entre 6,0% e 12,0% para a contração tangencial, 3,0% a 6,0% para contração radial e 0,1% a 3% para contração longitudinal (SKAAR, 1972). Por outro lado, Bowyer, Shmulsky e Haygreen (2003) mencionam que a contração longitudinal varia de 0,1% a 0,2%, e raramente excede 0,4%. Em relação à ocorrência de elevados valores para a contração longitudinal, Puehringer (2002) acrescenta que elevados valores neste sentido estão associados à madeira juvenil, principalmente em madeira juvenil de baixa massa específica.

Um dos mais importantes índices observados a partir das contrações é a relação entre contração tangencial e radial, denominado de anisotropia de contração ou coeficiente de anisotropia, o qual se apresenta de elevada importância prática (KOLLMANN, 1959). De acordo com Durlo e Marchiori (1992) o resultado desta relação é o índice mais representativo para avaliar a estabilidade dimensional da madeira. Esta relação proporciona a informação do provável comportamento da madeira, em função do processo de secagem, indicando maior ou menor propensão das peças apresentarem defeitos.

A avaliação da qualidade da madeira segundo a sua anisotropia é apresentada na Tabela 7.3.

TABELA 7.3 – QUALIDADE DA MADEIRA SEGUNDO O COEFICIENTE DE ANISOTROPIA

Coeficiente de Anisotropia	Qualidade da madeira
< 1,5	Madeira muito estável (excelente qualidade)
1,6 até 2,0	Média baixa (qualidade normal)
2,1 a 2,5	Média alta (qualidade média baixa)
> 2,6	Madeira muito instável (baixa qualidade)

Fonte: Klitzke (2007) adaptado

A anisotropia de contração igual a 1 seria a ideal, representando similar alteração nos planos tangencial e radial e não provocando tensões internas e consequentemente ocasionando defeitos como curvaturas, torções, rachaduras e empenamentos durante o processo de secagem (KLOCK, 2000), no entanto isso não ocorre na prática. Segundo Rocha (2000), a anisotropia de contração avaliada de forma isolada não caracteriza ou define uma determinada espécie de madeira como estável, podendo gerar uma falsa sensação de estabilidade.

De maneira geral, as variações dimensionais e a anisotropia são características indesejáveis a madeira, limitando o seu uso para diversas finalidades (KEINERT JR *et al.*, 1992) e exigindo técnicas adequadas de processamento e utilização (DURLO; MARCHIORI, 1992). Seu estudo é essencial para a utilização

industrial tanto na construção civil, como na produção de móveis (REZENDE; SAGLIETTI; GUERRINI, 1995), bem como na produção de outros produtos de madeira sólida, como portas, pisos, molduras, etc.

7.3 MATERIAIS E MÉTODOS

7.3.1 Determinação das propriedades físicas

7.3.1.1 Coleta de árvores e seccionamento do fuste

Como descrito no Capítulo 3 e complementado no Capítulo 4, após a seleção das árvores, as mesmas foram derrubadas e seccionadas ao longo da altura comercial, de onde foram obtidos discos em duplicata para avaliação do crescimento e das propriedades tecnológicas.

A Figura 7.1 detalha este procedimento em campo e proporciona o início da descrição da metodologia desenvolvida neste capítulo para obtenção das propriedades físicas das espécies estudadas.



FIGURA 7.1 – DERRUBADA DAS ÁRVORES, SECCIONAMENTO E COLETA DOS DISCOS

a) Seccionamento do fuste; b) Obtenção dos discos.

7.3.1.2 Determinação da massa específica básica

Os segundos discos obtidos no seccionamento das toras foram destinados à determinação da massa específica básica. Tais discos previamente identificados

foram submersos em água para a total saturação, e em seguida foi efetuada a remoção da casca. A massa específica básica foi então determinada de acordo com os procedimentos prescritos pela Norma COPANT 461/1972 – *Método de determinación del peso específico aparente* - a qual relaciona a massa seca da amostra (0%) e seu volume totalmente saturado, e conforme pode ser observado na Figura 7.2.



FIGURA 7.2 – ETAPAS DA DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA

a) Determinação do volume por imersão em água; b) Secagem dos discos; c) Resfriamento em dessecador; d) Pesagem dos discos.

Para o cálculo da massa específica básica média das árvores, utilizou-se a média ponderada, pois cada amostra avaliada ao longo do fuste representa um valor

correspondente a uma maior ou menor porção dentro do volume total da árvore, dependendo de sua localização.

Já para a avaliação do comportamento da distribuição da massa específica básica ao longo do fuste nas posições relativas, utilizou-se o valor médio determinado em cada posição sem ponderar a média geral.

Para a determinação das massas específicas nos diferentes teores de umidade (verde, aparente a 12% e básica) foram utilizados os corpos de prova destinados aos ensaios mecânicos, sendo neste caso, aplicada a metodologia de determinação estereométrica.

7.3.1.3 Determinação do percentual de madeira juvenil, lenho inicial e lenho tardio

A determinação do percentual de madeira juvenil, lenho inicial e lenho tardio foi efetuada nos discos utilizados inicialmente para a determinação das características de crescimento. Como relatado no Capítulo 4, os discos passaram por secagem natural e quando atingiram a umidade de equilíbrio, a superfície de medição foi preparada por meio de lixamento. Após o lixamento dos discos, os mesmos foram digitalizados, para obtenção das imagens e medição das variáveis propostas. A medição foi efetuada no programa *WinDENDROTM*, versão 2009g.

A medição do lenho inicial e tardio foi efetuada na imagem obtida, sendo efetuada a coleta de dados em 4 raios (medula-casca). Para a determinação do percentual destas variáveis ao longo do fuste foi feita a média aritmética na respectiva altura, e para a determinação da média geral dos lenhos inicial e tardio por espécie foi efetuada média ponderada. A determinação da largura dos anéis de crescimento foi também estabelecida utilizando-se os dados medidos nos 4 raios, em todas as alturas.

A determinação do percentual de madeira juvenil teve como ponto limite entre madeira juvenil e madeira adulta o 10° anel de crescimento, conforme Cown (1980). Foi também realizada uma avaliação visual nos discos para verificar se até este anel havia uma estabilização da largura dos anéis. A Figura 7.3 demonstra as etapas de preparação da superfície, obtenção das imagens e medição das variáveis.

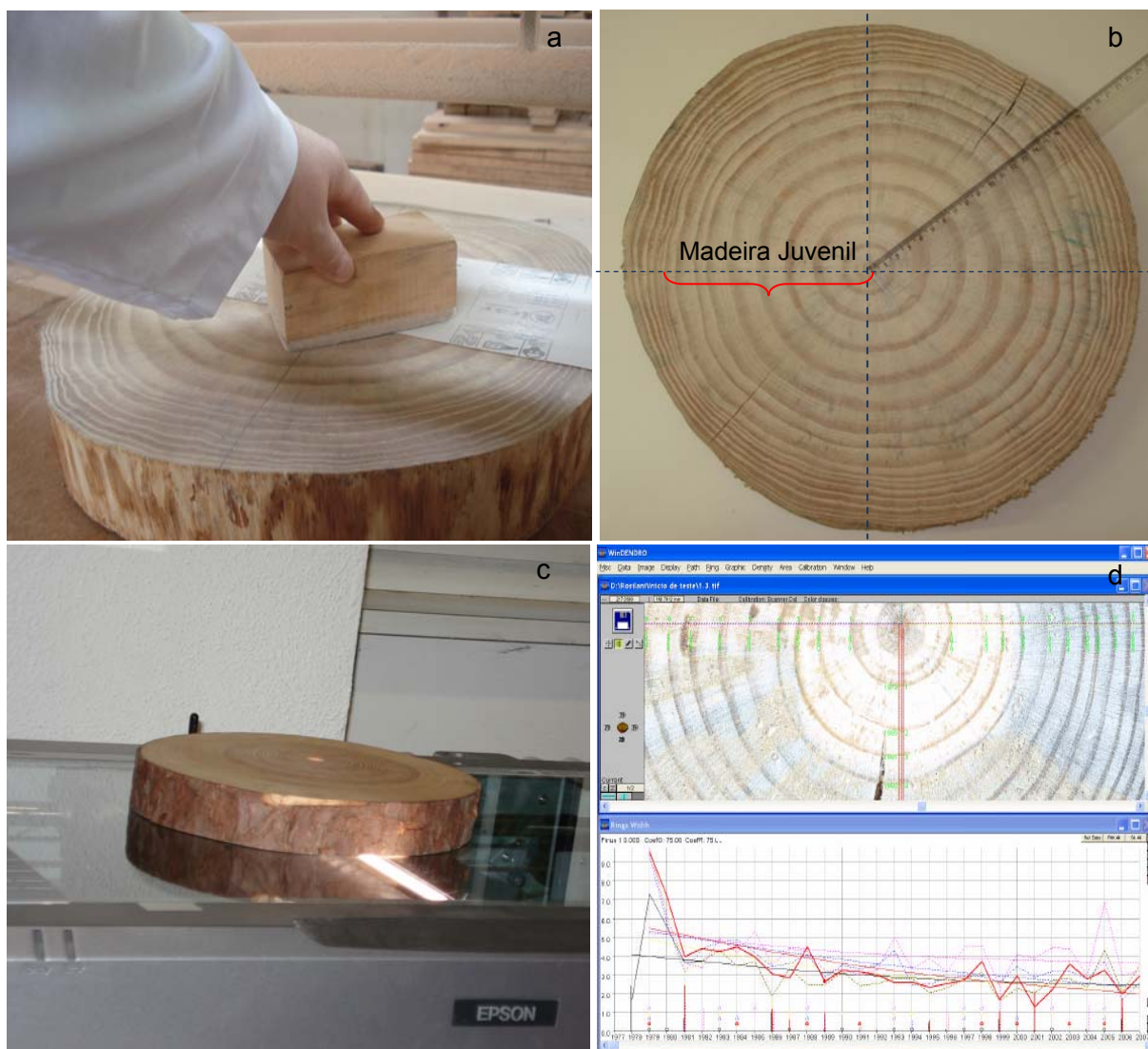


FIGURA 7.3 – PROCEDIMENTOS DE DETERMINAÇÃO DO PERCENTUAL DOS LENHOS INICIAL E TARDIO E DA MADEIRA JUVENIL

a) Preparação da superfície; b) Metodologia para medição dos raios; c) Digitalização das amostras; d) Medição das variáveis.

7.3.1.4 Determinação da retratibilidade

Para o estudo das propriedades de estabilidade dimensional foram confeccionados corpos de prova retirados de amostras obtidas ao longo do fuste das árvores coletadas. Após a confecção, os corpos de prova foram medidos em seus estados verde (saturado), a 12% de umidade de equilíbrio (após climatização conforme Norma COPANT 459/1972 – *Acondicionamiento de las maderas destinadas a los ensayos físicos y mecânicos*) e a 0% de umidade, conforme

procedimento da Norma COPANT 462/1972 – *Método de determinación de la contracción*.

A Figura 7.4 demonstra as etapas de amostragem, confecção e medição dos corpos de prova inerentes a este ensaio.



FIGURA 7.4 – ETAPAS DE DETERMINAÇÃO DA RETRATIBILIDADE

a) Desdobro principal e amostragem; b) Confecção das amostras; c) Climatização das amostras; d) Medição das dimensões.

7.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.4.1 Massa específica

7.4.1.1 Massa específica básica média

Os valores médios de massa específica básica por espécie, são apresentados na Tabela 7.4.

TABELA 7.4 – VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA BÁSICA POR ESPÉCIE

Espécie	Massa Específica Básica (g/cm ³)	CV (%)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	0,423 abc	9,77
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	0,418 bc	8,82
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	0,431 abc	8,58
<i>Pinus chiapensis</i>	0,389 c	7,82
<i>Pinus maximinoi</i>	0,467 ab	5,28
<i>Pinus oocarpa</i>	0,485 ab	5,09
<i>Pinus tecunumanii</i>	0,489 a	7,94
<i>Pinus taeda</i>	0,485 ab	6,08
<i>p</i>	0,000*	

Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna são estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade. *significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo.

De acordo com a Tabela 7.4, pode-se verificar que a espécie que apresentou o maior valor médio para a massa específica básica foi o *Pinus tecunumanii*, sendo este estatisticamente igual às espécies *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Pinus maximinoi*, *Pinus oocarpa* e também a testemunha,

Pinus taeda. Por outro lado, a espécie que apresentou menor valor médio para esta propriedade foi o *Pinus chiapensis*, com $0,389 \text{ g/cm}^3$, formando uma classe de massa específica estatisticamente inferior, quando comparada com a espécie testemunha (*Pinus taeda*).

Em relação a classificação da massa específica das espécies estudadas, todas apresentaram valores médios que as classificam como madeiras leves ou de baixa massa específica, segundo Melo, Coradin e Mendes (1990), que estabelecem o valor de até $0,500 \text{ g/cm}^3$, para esta classe.

Entretanto, a classificação de uma dada madeira baseada neste critério deve ser feita com relativa cautela, pois segundo Koch (1972), a massa específica varia significativamente entre árvores e dentro de uma mesma árvore, tanto no sentido longitudinal como no sentido radial. Em função disso, a variabilidade da massa específica no sentido longitudinal foi determinada e uma análise complementar da classificação das espécies estudadas é efetuada a partir da Tabela 7.5.

Em termos de aplicações industriais, espécies com maior massa específica provavelmente irão apresentar maior resistência mecânica, maior rendimento em celulose e massa seca e normalmente melhor acabamento superficial.

Considerando outras pesquisas encontradas na literatura com estas espécies, verifica-se que os valores médios obtidos para esta propriedade apresentam-se dentro do intervalo de variação apresentado pelos referidos pesquisadores.

Pinus caribaea var. *bahamensis*

Para a espécie *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, os valores encontrados situam-se no intervalo de $0,335 \text{ g/cm}^3$ a $0,760 \text{ g/cm}^3$, onde Brito e Nucci (1984) avaliando árvores desta espécie com 8-9 anos de idade, localizadas na região de Sacramento – MG, obtiveram massa específica média de $0,335 \text{ g/cm}^3$.

Wright, Gibson e Barnes (1986) em estudo na Zâmbia, com indivíduos entre 6-7 anos encontraram massa específica de $0,340 \text{ g/cm}^3$. Barnes *et al.* (1977) em estudo da variação do diâmetro e da massa específica em plantios de 6 anos,

oriundos de 5 diferentes sítios na Rodésia, obtiveram valores no intervalo de 0,352 g/cm³ a 0,371 g/cm³.

Amaral, Ferreira e Couto (1977), em experimento com 6 anos na região de Agudos –SP, obtiveram para o *Pinus caribaea* var. *bahamensis* valores médios entre 0,362 g/cm³ a 0,399 g/cm³, considerando diferentes alturas. Moura, Parca e Silva (1991) analisando o comportamento da espécie em três regiões dos cerrados, sendo elas, Planaltina (DF), Serranópolis (GO) e Jaciara (MT), com 12 anos de idade, obtiveram massa específica média de 0,407 g/cm³.

Observa-se, que os valores apresentados pelas literaturas correspondentes, são inferiores aos determinados neste trabalho. Entre os diversos fatores que exercem influência sobre a massa específica, pode-se afirmar neste caso, que a idade foi o principal fator, já que a maior idade avaliada foi de 12 anos.

Em referência aos resultados apresentados por Missio (2004) em estudo da variação genética em experimento instalado em Selvíria – MS, observa-se que os resultados descritos para indivíduos de 13 anos (0,458 g/cm³ e 0,487 g/cm³), foram superiores aos resultados apresentados neste trabalho. A possível justificativa para a maior massa específica, é dada em função de que este autor determinou a massa específica para as alturas do DAP (0,487 g/cm³) e para 50% da altura (0,458 g/cm³) e conforme a literatura preconiza, a massa específica tende a decrescer com a altura da árvore. Assim o valor médio para todo o fuste, como o considerado neste trabalho, tenderia a uma possível redução.

Já em relação a Martins (2007), que avaliando as propriedades estruturais desta espécie, obteve massa específica básica de 0,457 g/cm³ (0,367 g/cm³ a 0,576 g/cm³), não é possível estabelecer uma comparação mais detalhada, devido ao fato de que este autor, utilizou em seu experimento amostras obtidas a partir de lotes disponíveis comercialmente, não sendo identificado com isso, a procedência, a idade e a posição das peças na árvore.

Em comparação com os resultados apresentados por Florsheim (2010), nota-se um amplo intervalo de variação (0,386 g/cm³ a 0,760 g/cm³), para árvores com 16 e 30 anos obtidas em plantio localizado em São Paulo. Esta ampla variação se deve a grande diferença de idades do material estudado, e os elevados valores são justificados tanto pela elevada idade de um dos plantios (30 anos) e também pela

forma de determinação, onde esta autora apresenta seus resultados em termos de massa específica aparente a 12%.

Pinus caribaea var. caribaea

Para a espécie *Pinus caribaea var. caribaea*, os resultados citados pela literatura foram de 0,300 g/cm³ a 1,000 g/cm³, no entanto será utilizado como fator de comparação o valor de 0,300 g/cm³ a 0,530 g/cm³, tendo em vista que o valor de 1,000 g/cm³ refere-se a amostras saturadas de resina, e este não foi o caso do presente trabalho.

Assim, em referência aos valores apresentados por Barnes *et al.*, (1977), que obtiveram 0,350 g/cm³ (0,346 g/cm³ a 0,353 g/cm³) para duas procedências em plantios de 6 anos na Rodésia, observa-se que a massa específica aqui obtida, foi superior (0,418 g/cm³), sendo justificada principalmente pelo fator idade (6 x 17 anos).

Amaral, Ferreira e Couto (1977) avaliando a densidade da espécie aos 5 anos de idade em plantio na região de Agudos – SP, encontraram valor médio de 0,361 g/cm³ e Wright, Gibson e Barnes (1986) obtiveram 0,368 g/cm³ para plantio de 6-7 anos na Zâmbia. Observa-se para ambos os estudos, que os valores foram próximos entre si, no entanto, quando comparado com o valor médio deste estudo, o mesmo se apresenta consideravelmente inferior, sendo também justificada, pelo fator acima descrito.

Em relação aos resultados relatados por Silva (2005), a partir de experimento em progênies localizadas em Selvíria – MS, com 14 anos, são observados valores superiores (0,485 g/cm³ e 0,529 g/cm³). Tais valores possivelmente estão associados à forma de amostragem de material para a determinação da propriedade (DAP e 50% da altura).

Pinus caribaea var. hondurensis

Para a espécie *Pinus caribaea var. hondurensis* a literatura disponibiliza uma maior quantidade de pesquisas, indicando para a propriedade de massa específica, valores no intervalo de 0,321 g/cm³ a 0,700 g/cm³.

Foelkel, Brasil e Barrichelo (1971) avaliando a massa específica da madeira de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* a partir de diferentes métodos, determinaram para árvores com 8 anos de idade, provenientes da região de Mogi Guaçu – SP, valor médio de 0,356 g/cm³.

Amaral, Ferreira e Couto (1977) estudando a massa específica básica para espécies de pinus tropicais na região de Agudos - SP, obtiveram para esta espécie, valores médios de 0,339 g/cm³ para 6 anos, 0,402 g/cm³ para 12 anos e 0,436 g/cm³ para 14 anos. É possível verificar, de acordo com estes resultados, que as idades de 6 e 12 anos, demonstram menor valor, como descrito na literatura, no entanto, para idade de 14 anos, o valor médio obtido pelos autores foi superior aos deste estudo, com 18 anos. Este resultado, sensivelmente superior, pode estar associado às condições de crescimento do plantio, bem como à procedência.

Considerando os resultados descritos por Barnes *et al.* (1977) com valores entre 0,350 g/cm³ a 0,356 g/cm³ para árvores com 6 anos na Rodésia, Brito e Nucci (1984) com 0,353 g/cm³ para árvores de 8-9 anos localizadas na região de Sacramento – MG, Wright, Gibson e Barnes (1986) com resultados entre 0,345 g/cm³ a 0,383 g/cm³ para indivíduos de 6-7 anos na Zâmbia, Moura, Parca e Silva (1991) com valores de 0,398 g/cm³ a 0,424 g/cm³ para plantios com 12 anos em três regiões do cerrado, observa-se que todos os trabalhos apresentam resultados de massa específica inferior ao apresentado neste estudo. Estes, valores, como já mencionados ao longo da discussão, devem-se provavelmente a idade e condições de crescimento, onde na literatura há informações de que a massa específica tende aumentar com a idade, possivelmente pela redução do percentual de madeira juvenil e aumento do percentual de madeira adulta, a qual devido as suas características apresenta maior massa específica (BENDSTEN, 1978; PANSHIN; DE ZEEUW, 1980; ZOBEL, 1981; ZOBEL, 1984, SENFT; BENDSTEN; GALLIGAN, 1985; ZOBEL; BUIJTENEN, 1989; KLOCK, 2000).

Para melhor justificar a influência da idade na massa específica, é possível estabelecer uma relação entre o estudo realizado por Mendes (2001) e este trabalho, onde o primeiro autor obteve valor médio ao longo do fuste de 0,370 g/cm³ para árvores com 11 anos de idade e este trabalho utilizando árvores do mesmo sítio, no entanto com 18 anos, apresentaram valor médio de 0,431 g/cm³.

Em continuidade da comparação dos resultados obtidos com os resultados disponíveis na literatura, ressalta-se os trabalhos realizados por Rezende, Saglietti e Guerrini (1985) que avaliando árvores com 8 anos de idade, determinaram para a espécie massa específica de $0,300 \text{ g/cm}^3$ a $0,700 \text{ g/cm}^3$. Nota-se, que os resultados descritos por tais autores, apresentam uma ampla variação, além de serem consideravelmente superiores ao obtidos nesta pesquisa ($0,431 \text{ g/cm}^3$) a partir de árvores com 18 anos. No entanto, esta elevada variação para a propriedade é justificada pela metodologia de medição, onde a determinação ocorreu por meio da técnica de radiação gama, sendo determinados valores para o lenho inicial e para o lenho tardio.

Em relação ao resultados apresentados por Correa (2009), percebe-se também, que o autor obteve para plantio com 12 anos de idade, valor médio de massa específica de $0,499 \text{ g/cm}^3$, sendo este também, superior ao valor médio deste trabalho. Assim como relatado no parágrafo anterior, as diferenças de resultados entre idades estão provavelmente atreladas à amostragem, forma e condição de determinação, além de outros possíveis fatores de influência como sítio de crescimento e procedência. No entanto, vale ressaltar que este autor utilizou para a determinação da propriedade, discos amostrados somente no DAP e as medições foram efetuadas por meio de densitometria de raio x, com umidade de equilíbrio de 12%, caracterizando com isso, massa específica aparente.

Em comparação com os resultados apresentados por Aroni e Rezende (2007), os quais obtiveram massa específica entre $0,357 \text{ g/cm}^3$ a $0,428 \text{ g/cm}^3$ para plantio de 11 anos na região de Agudos – SP, vale ressaltar que as diferenças encontradas na massa específica podem estar associadas a condição de determinação (12%) e também por se tratar de um híbrido (*Pinus caribaea* var. *hondurensis* x *Pinus tecunumanii*).

Valores similares ao apresentado neste estudo foram encontrados por Vicente *et al.* (2005) que avaliando a massa específica a partir de indivíduos com 19 anos, provenientes da região de Planaltina, obtiveram valores de $0,370 \text{ g/cm}^3$ a $0,450 \text{ g/cm}^3$; Barrichelo (1979) que obteve valor médio de $0,418 \text{ g/cm}^3$ para plantio com 16 anos de idade da região de Agudos – SP; Castro (2011) que obteve $0,460 \text{ g/cm}^3$ para plantio de 18 anos localizados em Piracicaba – SP; Klock (1989) que encontrou valores entre $0,350 \text{ g/cm}^3$ a $0,500 \text{ g/cm}^3$ para plantios de 14 e 18 anos na

região de Agudos – SP; Gonzalez *et al.* (2009) que obtiveram valores no intervalo de 0,430 g/cm³ a 0,460 g/cm³ para material com 22 e 23 anos da região de Goiás; Moraes *et al.* (2007) que determinaram valores entre 0,398 g/cm³ a 0,436 g/cm³, para indivíduos de 23 anos da região de Planaltina – DF, Sansígolo e Barreiros (2004) que obtiveram valor médio de 0,420 g/cm³ para árvores de 21 anos; Moraes Neto e Duboc (2008) com valores entre 0,431 g/cm³ a 0,531 g/cm³ para plantio de 21 anos em Planaltina – DF e aos mencionados por Ribeiro (2009), que obteve massa específica média de 0,470 g/cm³, para plantio localizado no Distrito Federal e com idade estimada de 21 anos.

Considerando os valores apresentados por Montagna *et al.* (1983) com massa específica média de 0,371 g/cm³, a partir de plantios localizados em Mogi-Mirim com 17 anos e em diferentes espaçamentos, nota-se, que o resultado pode ser considerado um pouco inferior, já que as idades são muito próximas entre si. Esta diferença pode estar associada às condições edafoclimáticas da região, procedência e espaçamento utilizado no experimento.

Já a pesquisa conduzida por Vale, Rocha e Del Menezzi (2009) apresenta resultados médios superiores, para indivíduos de 13 anos, provenientes da região de Vargem Bonita – DF. Os resultados determinados por estes autores são de 0,507 g/cm³ a 0,511 g/cm³, onde possivelmente sítio de crescimento e procedência exerceram influência sobre tais resultados.

Pinus chiapensis

Para a espécie *Pinus chiapensis*, pesquisas na área tecnológica são bem mais escassas quando comparadas com outras espécies de *Pinus* tropicais. Os poucos resultados encontrados para esta propriedade variaram entre 0,340 g/cm³ a 0,426 g/cm³, onde o resultado médio para esta propriedade obtido neste trabalho (0,389 g/cm³) encontra-se de acordo com o intervalo mencionado.

Comparando com os resultados apresentados por Malan (2001), que em avaliação das propriedades da madeira desta espécie a partir de três procedências com 14 anos localizadas na África do Sul obteve valores médios no intervalo de 0,407 g/cm³ a 0,426 g/cm³, nota-se que, que as massas específicas descritas por

este autor foram superiores. A explicação de menor massa específica para plantios com maior idade, está provavelmente relacionada ao sítio e condições de crescimento.

Considerando os valores descritos por Upton e Donahue (2003), e aos mencionados por Dvorak e Brouard (1987)¹¹ citados por Upton e Donahue (2003) que relatam que em plantações exóticas com 10 anos de idades, a massa específica varia de 0,340 g/cm³ a 0,350 g/cm³, pode-se dizer que os resultados aqui obtidos para a espécie são similares (0,389 g/cm³, para árvores com 18 anos).

Em relação aos resultados de Mendes (2001), observa-se que os resultados apresentados por este autor (0,370 g/cm³) é ligeiramente superior aos descritos por Dvorak e Brouard (1987) citados por Upton e Donahue (2003), onde a pequena fonte de variação esta associada à diferença de idade de um ano ou então as condições de crescimento e procedência. Comparando os resultados deste autor com os obtidos no presente trabalho, verifica-se que a pequena diferença obtida (0,370 g/cm³ para 0,389 g/cm³, 11 e 18 anos respectivamente), está relacionada exclusivamente a idade, já que em ambas as pesquisas, o material é proveniente do mesmo plantio. Esta pequena diferença de massa específica, mesmo com 7 anos de diferença de idade, pode ainda ser explicada segundo as afirmações de Malan (2001), que relata que os anéis de crescimento desta espécie não apresenta nenhum aumento na largura do lenho tardio na direção medula casca, como na maioria das vezes é observado em outras coníferas, e de acordo com Shimizu (2008) que afirma que a variação da massa específica na madeira desta espécie é mínima, tanto no sentido medula-casca, como no sentido longitudinal.

Pinus maximinoi

Para o *Pinus maximinoi* a literatura também dispõe de poucos estudos com a espécie, onde os resultados obtidos apresentaram intervalo de 0,380 g/cm³ a 0,508 g/cm³.

¹¹ DVORAK; W.S.; BROUARD, J. An evaluation of *Pinus chiapensis* as a commercial plantation species for the tropics and subtropics. **Commonwealth Forestry Review** v. 66, n.2, p. 165- 176, 1987.

Considerando os resultados obtidos por Wright e Malan (1991) e Wright e Wessels (1992) a partir de plantio experimental com 10,5 anos na África do Sul, os quais obtiveram valor médio de $0,456 \text{ g/cm}^3$, observa que tal resultado é bastante similar ao obtido neste trabalho, cuja massa específica média é de $0,467 \text{ g/cm}^3$, no entanto para indivíduos com 18 anos. Este resultado pode ser associado e justificado a partir das características de crescimento, as quais são bastante diferenciadas, e pela posição de retirada das amostras, onde estes autores utilizaram apenas o DAP para determinação da propriedade, superestimando com isso o valor da massa específica, já que a mesma tende a diminuir com o acréscimo da altura (SPURR; HYVARINEN, 1954; PANSHIN; DE ZEEW, 1980; KLOCK; 2000).

Com base no resultado de Mendes (2001), de $0,380 \text{ g/cm}^3$ para árvores com 11 anos de idade provenientes de Ventania – PR, confirma-se novamente a influência da idade, já que este e aquele estudo provém do mesmo plantio. Estabelecendo uma breve relação entre o resultado médio obtido por este autor (MENDES, 2001) com a justificativa descrita anteriormente, pode-se, de certa forma, confirmar a influência das condições de crescimento sobre a massa específica desta espécie para diferentes locais. Mendes (2001) para plantio com 11 anos obteve o valor médio de $0,380 \text{ g/cm}^3$ e Wright e Malan (1991) e Wright e Wessels (1992) para plantio com 10,5 anos encontraram valor de $0,456 \text{ g/cm}^3$. Relacionando o crescimento e a produtividade em ambas as pesquisas, observa-se que Mendes (2001) obteve volume médio por árvore de $0,470 \text{ m}^3$, e Wright e Malan (1991) e Wright e Wessels (1992), obtiveram volume médio por árvore de $0,153 \text{ m}^3$. Em função desta elevada diferença, pode-se afirmar que as condições na região de Ventania – PR propiciaram um maior crescimento e conseqüentemente uma maior produtividade volumétrica, ao contrário do que aconteceu com o crescimento do plantio localizado na África do Sul, onde o incremento volumétrico foi muito menor, favorecendo desta forma, a formação de madeira com maior massa específica.

Em relação aos resultados obtidos por Klock (2000), a partir de árvores com 10 anos de idade e também provenientes do mesmo experimento utilizado neste trabalho, nota-se que este autor obteve massa específica média de $0,410 \text{ g/cm}^3$, um pouco inferior ao valor para 18 anos ($0,467 \text{ g/cm}^3$).

A respeito dos resultados descritos por Malan (2006) a partir de povoamento localizado na África do Sul, com 15 anos de idade e compostos de diferentes

procedências, verifica-se que os resultados determinados por este autor apresentam-se ligeiramente superiores, com valor médio de $0,490 \text{ g/cm}^3$ ($0,471$ a $0,508 \text{ g/cm}^3$) justificando-se novamente a influência das condições de crescimento.

Pinus oocarpa

Para o *Pinus oocarpa*, os valores médios para a propriedade de massa específica descritos na literatura apresentaram-se no intervalo de $0,343 \text{ g/cm}^3$ a $0,564 \text{ g/cm}^3$, onde o valor médio obtido no presente trabalho ($0,485 \text{ g/cm}^3$), encontra-se dentro da faixa de variação mencionada.

Comparando este resultado com os valores obtidos por Foelkel *et al.* (1975) que obtiveram massa específica entre $0,362 \text{ g/cm}^3$ a $0,441 \text{ g/cm}^3$ para árvores com 6, 12 e 13 anos de idade provenientes da região de Agudos – SP, Brito e Nucci (1984) que encontraram $0,396 \text{ g/cm}^3$ para árvores de 9 anos localizadas em Sacramento – MG; Sampaio (1996) que obteve valores entre $0,400 \text{ g/cm}^3$ a $0,415 \text{ g/cm}^3$ para experimento de 5 anos instalado em Tibagi – PR, Amaral, Ferreira e Couto (1977) que encontraram valores de $0,372 \text{ g/cm}^3$, $0,422 \text{ g/cm}^3$ e $0,443 \text{ g/cm}^3$ para árvores com 6, 12 e 13 anos, respectivamente, oriundas de Agudos – SP, Brasil, Nicolielo e Veiga (1980) que encontraram valor de $0,434 \text{ g/cm}^3$ para árvores de 7 anos de Agudos, Mendes (2001) que obteve valor médio de $0,430 \text{ g/cm}^3$ para árvores com com 11 anos, provenientes da região de Ventania - PR e Mendes *et al.* (2001) que encontraram valor médio de $0,446 \text{ g/cm}^3$ para indivíduos de 14 anos originários de Lavras - MG, nota-se que os resultados são inferiores, muito provavelmente, pela menor idade em todos os casos. No entanto, vale ressaltar que a idade não deve ser considerada com único fator de influência.

Já comparando este resultado com o valor médio determinado por Klock (1989), o qual obteve valor médio de $0,440 \text{ g/cm}^3$, para indivíduos de 18 anos também, no entanto oriundas de Agudos - SP, nota-se massa específica básica relativamente superior, onde tal resultado pode estar atrelado a região de crescimento. Resultados inferiores foram também observados no estudo desenvolvido por Sansígolo e Barreiros (2004), os quais obtiveram $0,437 \text{ g/cm}^3$ para árvores com 20 anos.

Em relação aos resultados apresentados por Brasil, Nicolielo e Veiga (1980) de 0,489 g/cm³ e 0,498 g/cm³ para árvores de 13 e 14 anos, respectivamente, provenientes da região de Agudos – SP, observa-se que os valores médios encontrados por estes autores foi ligeiramente superior aos obtidos neste trabalho (0,485 g/cm³) para indivíduos de 18 anos. Embora seja difícil afirmar especificamente a que se deve estas diferenças, possíveis explicações estão relacionadas ao sítio de crescimento e procedência.

Com base no resultado apresentado por Rezende, Severo e Quintana (2001) cujo valor médio foi de 0,564 g/cm³ para árvores de 24 anos oriundas de Agudos – SP, observa-se considerável diferença em relação ao valor médio obtido neste trabalho, valor este, justificado pela idade e pela metodologia de determinação (radiação gama a 12%). Valor médio superior foi também obtido por Moraes Neto e Melo (2008) que obtiveram a partir de um teste de procedência com 23 anos, localizado no cerrado do Distrito Federal, massa específica de 0,504 g/cm³, sendo este valor determinado a partir de baguetas obtidas exclusivamente da altura do DAP.

Pinus tecunumanii

Para o *Pinus tecunumanii* a literatura apresenta valores no intervalo de 0,330 g/cm³ a 0,560 g/cm³. O valor médio obtido neste trabalho encontra-se no intervalo acima descrito, sendo este, de 0,489 g/cm³.

É possível verificar que o resultado obtido a partir da determinação da massa específica básica desta pesquisa é superior aos resultados encontrados por Shimoyama e Wiecheteck (1993), que em estudo das características da madeira para a produção de papel imprensa, obtiveram para árvores de 12 anos localizadas em Anhembi – SP, valor médio de 0,445 g/cm³; aos resultados descritos por Mendes (2001) que avaliando o potencial desta espécie para produção de painéis OSB obteve valor médio de 0,410 g/cm³; Moura e Vale (2002) que em avaliação da massa específica de *Pinus tecunumanii* a partir de procedências mexicanas e centro-americanas obtiveram para árvores com 15 anos, valores de 0,389 g/cm³ e 0,418 g/cm³; Moura, Vale e Isaias (2004) que comparando métodos de avaliação da

variabilidade genética em volume, massa específica e matéria seca, encontraram valores de $0,430 \text{ g/cm}^3$ e $0,460 \text{ g/cm}^3$ para indivíduos de 12 e 17 anos, respectivamente, localizados em Planaltina – DF.

Este valor é ainda, superior ao determinado por Vicente *et al.* (2005) que estudando a variação radial e axial da massa específica básica em procedências de 19 e 20 anos, localizadas em Planaltina – DF obtiveram valores médios de $0,380 \text{ g/cm}^3$ para a procedência Montebello (19 anos), $0,370 \text{ g/cm}^3$ para a procedência San Jerónimo (19 anos) e $0,440 \text{ g/cm}^3$ para a procedência Mount Pine Ridge (20 anos); aos valores determinados por Torres, Melo e Colodette (2005) que avaliando a produção de polpa *Kraft* branqueada obtiveram valor médio para esta propriedade de $0,466 \text{ g/cm}^3$ e aos resultados descritos por Moraes Neto *et al.* (2009b), que em análise da variação axial de cinco procedências de *Pinus tecunumanii* instaladas no Distrito Federal, obtiveram para os plantios de 23 anos, valores entre $0,370 \text{ g/cm}^3$ a $0,470 \text{ g/cm}^3$.

Pinus taeda

Para a espécie *Pinus taeda*, a literatura dispõe de inúmeras pesquisas, em virtude da ampla utilização desta espécie nos processos industriais de transformação da madeira. Comparando o valor médio obtido neste trabalho ($0,485 \text{ g/cm}^3$), com a literatura, verifica-se que este valor é superior aos valores apresentados por Klock (2000), que obteve massa específica básica no intervalo de $0,364 \text{ g/cm}^3$ a $0,467 \text{ g/cm}^3$ para árvores com 10 anos de idade em Ventania - PR; Mendes (2001) que encontrou valor médio de $0,400 \text{ g/cm}^3$ para indivíduos de 11 anos, também provenientes de Ventania – PR; Andrade (2006) que obteve valor médio de $0,362 \text{ g/cm}^3$ e $0,404 \text{ g/cm}^3$ para plantio com 8, 14 anos, respectivamente, localizados na região de Telêmaco Borba – PR; Castelo (2007) que encontrou valores médios de $0,386 \text{ g/cm}^3$ e $0,377 \text{ g/cm}^3$ para plantios com idade de 14 e 18 anos, respectivamente, localizados em Piraí do Sul – PR; Sousa *et al.* (2007) que obtiveram valores de $0,350 \text{ g/cm}^3$ e $0,400 \text{ g/cm}^3$, para árvores com 9 e 13 anos respectivamente, oriundos da região de Sengés – PR; Xavier, Matos e Trianoski (2008) que encontraram valores $0,377 \text{ g/cm}^3$, $0,366 \text{ g/cm}^3$, $0,351 \text{ g/cm}^3$, $0,390 \text{ g/cm}^3$

para plantios com 8, 9, 10 e 11 anos, respectivamente, localizados em Guarapuava – PR. A provável justificativa para estes casos, deve estar, provavelmente, associada em grande parte ao fator idade, e talvez em menor intensidade às questões inerentes ao sítio de crescimento e procedência de sementes.

Considerando os resultados descritos por Sousa *et al.* (2007) que obteve $0,460 \text{ g/cm}^3$ para árvores com 20 anos provenientes de Sengés – PR, Chies (2005) e Castelo (2007) que encontraram massa específica básica ponderada no intervalo de $0,414 \text{ g/cm}^3$ e $0,434 \text{ g/cm}^3$ para plantios de 21 em diferentes espaçamentos localizados em Três Barras – SC e Andrade (2006) que determinou valores entre $0,413 \text{ g/cm}^3$ e $0,445 \text{ g/cm}^3$ para diferentes classes de produtividade a partir de plantios com 20 anos oriundos da região de Telêmaco Borba – PR, pode-se dizer que mesmo com estas diferenças, originadas principalmente em função das condições de crescimento, os valores são similares entre si.

Já em relação aos resultados apresentados por Shimoyama (2005) que obteve valor médio de $0,501 \text{ g/cm}^3$ para plantio com 28 anos localizado na região de Sengés – PR e Ballarin e Nogueira (que encontraram $0,555 \text{ g/cm}^3$ a partir árvores com 24 anos oriundas da região de Itapeva – SP, verifica-se que os valores obtidos por tais autores são superiores, sendo explicados principalmente pela elevada idade, a qual possui menor proporção de madeira juvenil e conseqüentemente maior percentual de lenho tardio, o que reflete diretamente no aumento da massa específica.

7.4.1.2 Massa específica básica ao longo do fuste

Como mencionado por Spurr e Hyvarinen (1954), Kollmann (1959), Panshin e De Zeeuw (1980), Cown e McConchie (1980) e Klock (2000), a variação em uma mesma árvore, é, às vezes, muito maior do que a variação encontrada entre árvores de uma mesma espécie e entre espécies. Assim, a Tabela 7.5 apresenta a variação da massa específica básica ao longo do fuste entre espécies e na própria espécie.

Iniciando a discussão dos resultados apresentados na Tabela 7.5, com a classificação da massa específica das espécies estudadas, neste caso ao longo do

TABELA 7.5 – VALORES MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA AO LONGO DO FUSTE DE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

Espécie	Altura					p_{especie}
	0% (g/cm ³)	25% (g/cm ³)	50% (g/cm ³)	75% (g/cm ³)	100% (g/cm ³)	
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	^A 0,431 bc (8,13)	^A 0,435 ab (16,19)	^A 0,433 ab (10,12)	^A 0,416 a (8,24)	^A 0,399 a (4,67)	0,673 ^{ns}
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	^A 0,450 abc (12,37)	^{AB} 0,391 b (9,97)	^B 0,381 b (5,83)	^{AB} 0,396 a (8,22)	^B 0,370 a (4,59)	0,020*
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	^A 0,493 ab (8,79)	^{AB} 0,446 ab (5,40)	^{AB} 0,421 ab (11,10)	^{AB} 0,417 a (11,41)	^B 0,376 a (9,29)	0,004*
<i>Pinus chiapensis</i>	^A 0,389 c (6,83)	^A 0,384 b (7,38)	^A 0,395 b (9,67)	^A 0,424 a (10,86)	^A 0,356 a (2,55)	0,243 ^{ns}
<i>Pinus maximinoi</i>	^A 0,493 ab (8,28)	^{AB} 0,441 ab (2,14)	^B 0,424 ab (3,93)	^{AB} 0,459 a (10,60)	^B 0,421 a (5,75)	0,021*
<i>Pinus oocarpa</i>	^A 0,512 ab (7,29)	^{AB} 0,485 a (6,29)	^{AB} 0,455 ab (7,56)	^{AB} 0,475 a (15,12)	^B 0,421 a (8,64)	0,048*
<i>Pinus tecunumanii</i>	^A 0,531 a (6,23)	^A 0,489 a (11,82)	^A 0,481 a (10,68)	^A 0,455 a (8,10)	^A 0,420 a (23,04)	0,135 ^{ns}
<i>Pinus taeda</i>	^A 0,515 a (8,48)	^A 0,455 ab (4,95)	^A 0,449 ab (4,39)	^A 0,467 a (9,84)	^A 0,450 a (15,93)	0,136^{ns}
p_{altura}	0,000*	0,001*	0,003*	0,107 ^{ns}	0,182 ^{ns}	

Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma coluna (a direita, minúscula e em fonte normal) indicam diferenças da massa específica básica na referida altura entre espécies, e são estatisticamente diferentes pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade. Médias seguidas de letras diferentes em uma na mesma linha, (a esquerda, maiúscula e em fonte subscrita) indicam diferenças de massa específica básica ao longo do fuste na espécie e são estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo. Valores entre parêntesis referem-se ao coeficiente de variação das amostras.

fuste conforme importância relatada por Koch (1972), e baseando-se novamente na classificação proposta por Melo, Coradin e Mendes (1990), nota-se que a madeira das espécies, *Pinus oocarpa*, *Pinus tecunumanii* e *Pinus taeda*, localizada na base da árvore sugerem uma classificação como madeira de média massa específica. Para as demais alturas ao longo do fuste destas espécies, assim como para todas as alturas das demais espécies de *Pinus* tropicais os valores indicam madeiras de massa específica leve.

Estas diferentes classes encontradas em uma mesma espécie estão de acordo com as informações mencionadas por Kollmann e Côté (1968), os quais relatam que especificamente para *Pinus spp.*, as variações de massa específica no sentido longitudinal podem ser tão acentuadas a ponto de determinar diferentes classes de qualidade apenas em função da posição de origem da peça de madeira.

Avaliando a variabilidade da massa específica entre as espécies, verifica-se que para a base da árvore (0%), o maior valor médio foi observado no *Pinus tecunumanii*, onde esta espécie apresentou diferença estatística significativa apenas em relação às médias das espécies *Pinus caribaea* var. *bahamensis* e *Pinus chiapensis*. Nota-se ainda, para esta altura, que estas duas espécies, foram as únicas que se diferenciaram estatisticamente da espécie utilizada como testemunha.

Para a altura de 25%, o maior valor médio foi também apresentado pelo *Pinus tecunumanii*, no entanto, a massa específica desta espécie nesta altura, apresentou diferença estatística em relação às massas específicas das espécies *Pinus caribaea* var. *caribaea* e *Pinus chiapensis*. Nesta altura, nenhuma das espécies apresentou diferença estatística significativa em relação ao *Pinus taeda*.

Na altura a 50%, foi observada novamente a maior massa específica média para o *Pinus tecunumanii*, e também comportamento estatístico similar a altura de 25%, quando se considera esta espécie em relação às demais e também quando se efetua comparação das espécies em relação à testemunha.

Considerando a altura a 75%, verifica-se que o *Pinus oocarpa* apresentou a maior massa específica média, no entanto, não foi evidenciada diferença estatística significativa entre todas as espécies estudadas.

Por fim, a maior massa específica média a 100% da altura comercial, foi apresentada pelo *Pinus taeda*, sendo a testemunha, estatisticamente igual à todas as outras espécies.

Em uma abordagem geral, considerando o comportamento da massa específica básica ao longo das alturas, pode-se dizer que o *Pinus tecunumanii*, apresenta para esta propriedade, a maior qualidade da madeira. É provável também, que esta espécie demonstre qualidade superior quando avaliadas as propriedades mecânicas. Vale ressaltar ainda, que a partir de 75% da altura as espécies não apresentam mais, variação da propriedade sob o ponto de vista estatístico.

Considerando a variabilidade da massa específica básica ao longo do fuste de cada espécie, verifica-se que as espécies *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, *Pinus chiapensis*, *Pinus tecunumanii* e *Pinus taeda*, mesmo com a redução gradativa da propriedade no sentido base-topo, conforme preconiza a literatura (PANSWIN; DE ZEEUW, 1980) não apresentaram diferença estatística entre as posições. Este resultado pode ser considerado muito bom, tendo em vista que uma maior homogeneidade de massa específica na árvore pode representar a redução de problemas nos processos produtivos, e conseqüentemente geração de produtos mais homogêneos.

Para as espécies *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa*, foi constatada apenas, diferença estatística significativa, entre os extremos da árvore (0% e 100%). Embora esta variação de propriedade não seja desejada, caso seja necessário a classificação de toras na colheita ou no pátio da indústria de processamento para um processo específico, tal procedimento não se torna tão difícil e complexo.

Já as espécies *Pinus caribaea* var. *caribaea* e *Pinus maximinoi*, apresentaram a maior variabilidade de massa específica entre toras. Nestes casos, se o processo produtivo requerer matéria prima com maiores valores da propriedade, a separação por classe de massa específica torna-se mais complexa, além de possivelmente gerar produtos com maior variabilidade de propriedades.

Para melhor visualizar o comportamento da massa específica básica ao longo do fuste comercial, o Gráfico 7.1 apresenta o modelo da variação obtido para as diferentes espécies.

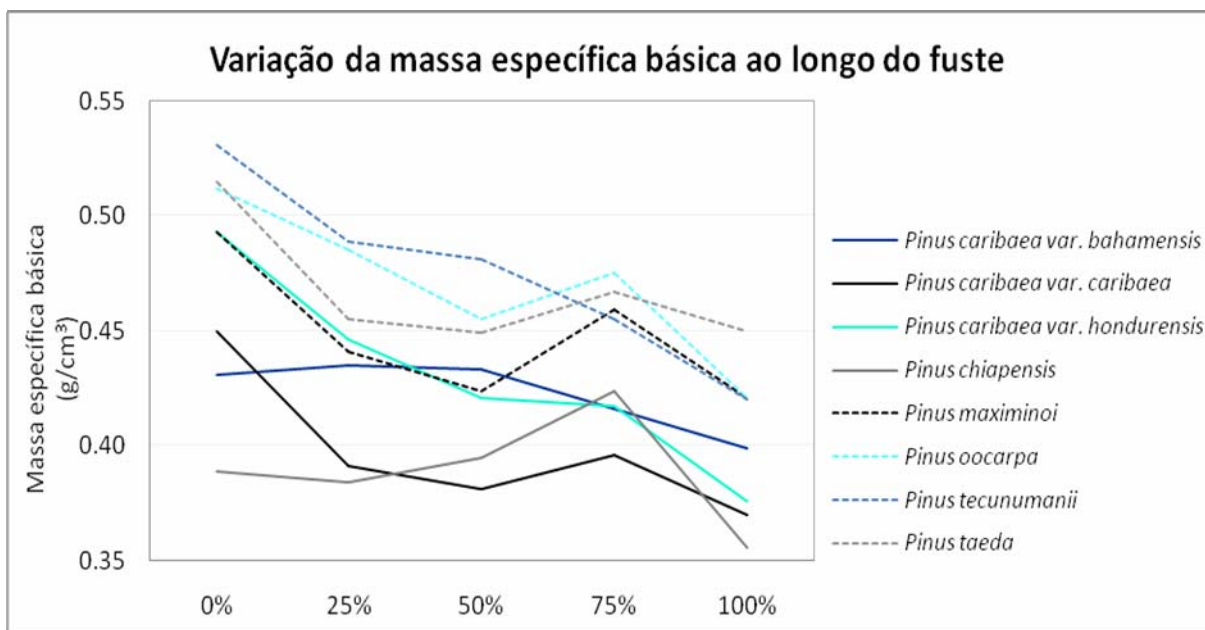


GRAFICO 7.1 – VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA AO LONGO DO FUSTE

De acordo com o Gráfico 7.1, observa-se que o modelo de variação longitudinal decresce com a altura, conforme mencionado por diversos autores (PANSIM; DE ZEEUW, 1980; SPURR; HYVARINEN, 1954; KLOCK, 2000)

No entanto, a partir deste mesmo gráfico ou também dos resultados apresentados na Tabela 7.5, observa-se que na posição relativa a 75% da altura comercial, a maioria das espécies (5 entre as 8 estudadas) demonstra um aumento no valor da massa específica, quando comparados com os valores obtidos a 50%.

Este fato já foi verificado por outros pesquisadores, como por exemplo, por Amaral, Ferreira e Couto (1977), Shimoyama e Wiecheteck (1993), Klock (1989), Vicente *et al.* (2005), Vale, Rocha e Del Menezzi (2009), Espinoza (2010), entre outros, o qual confirma a proposição de Spurr e Hyvarinen (1954), que relatam que não existe um padrão definido para estas variações dentro de uma árvore, mas uma tendência geral ao longo do fuste. Panshin e De Zeeuw (1980) corroboram com a inexistência de um padrão totalmente definido para o comportamento da massa específica no sentido longitudinal, relatando que embora o decréscimo da massa específica ao longo da altura seja mais comum, existem modelos de variação onde a massa específica apresenta decréscimo na parte inferior do tronco, seguido de um acréscimo regular nos níveis superiores da árvore, e variação positiva em

direção ao topo, porém desuniforme. Ainda segundo estes autores, para as espécies do gênero *Pinus*, 2/3 delas demonstram redução da massa específica ao longo do fuste.

Em relação ao aumento da massa específica evidenciado em algumas das espécies estudadas, uma provável explicação para tal resultado, pode estar relacionada com a copa, onde na região de inserção dos galhos, ocorrem alterações na estrutura anatômica da madeira, provocando com isso, um aumento na propriedade de massa específica. Além disso, outros fatores como por exemplo, a madeira de reação, pode justificar ou então contribuir para o aumento da massa específica nesta região, já que a parte superior da árvore está sujeita a ventos e tempestades, desenvolvendo células diferenciadas devido ao estímulo desordenado dos hormônios que visam compensar o esforço imposto, e com isso, formam a madeira de compressão nas coníferas (ALBINO; TOMAZELO FILHO, 1985; VALE; BRASIL; MARTINS, 1999). Este fato foi observado visualmente nas amostras.

Considerando os resultados da variação da massa específica ao longo do fuste das espécies utilizadas neste trabalho, nota-se que as espécies *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus tecunumanii*, seguiram o primeiro modelo de variação proposto por Panshin e De Zeew (1980), onde a massa específica reduz com o aumento da altura. Comparando estas espécies com os valores descritos na literatura, observa-se que para a espécie *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, Amaral, Ferreira e Couto (1977), obtiveram para árvores de 6 anos, comportamento diferenciado aos obtidos neste trabalho. Segundos a pesquisa conduzida por estes autores, a massa específica decresceu da base até a metade do fuste, tornando a aumentar a partir desta altura e atingindo seu valor máximo a 100% da altura.

Em relação à espécie *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, foram também observados resultados que não seguem um padrão de redução uniforme da massa específica ao longo do fuste. Exemplos deste comportamento são evidenciados por Vale, Rocha e Del Menezzi (2009), que avaliando a variação axial e radial da massa específica de árvores com 13 anos, verificaram que esta propriedade aumentou na altura de 80%. Amaral, Ferreira e Couto (1977) também observaram para árvores de 14 anos, uma redução da massa específica até aproximadamente metade do fuste, com ligeiro aumento na posição seguinte, mantendo-se praticamente constante até a

altura de 100%. Já Klock (1989) observou resultado similar ao deste trabalho, para árvores de 14 e 18 anos, provenientes da região de Agudos – SP.

Para o *Pinus tecunumanii*, Vicente *et al.* (2005) analisando a variação axial de 3 procedências de *Pinus tecunumanii*, obtiveram para a procedência (Montebello), um ligeiro aumento da propriedade nas alturas de 75% e 100%. Por outro lado, estes autores, observaram também que a procedência Mout Pine Ridge, manifestou um sensível aumento da massa específica na altura de 50%, com posterior redução no restante do fuste.

Moraes Neto *et al.* (2009) avaliando procedências de *Pinus tecunumanii* com 23 anos de idade no cerrado do Distrito Federal, também observaram que a massa específica não seguiu um modelo de decréscimo ao longo do fuste, onde quatro das cinco procedências estudadas apresentaram redução da base até 25% da altura comercial, e a partir desta posição mantiveram-se constantes até 75%.

Shimoyama e Wiecheteck (1993) estudando as propriedades do *Pinus tecunumanii* com 13 anos observaram que os valores médios relativos às alturas de 50%, 75% e 100%, foram superiores ao valor médio obtido na altura de 25%.

Já o *Pinus caribaea* var. *caribaea*, o *Pinus chiapensis*, o *Pinus maximinoi*, o *Pinus oocarpa* e o *Pinus taeda*, foram as espécies que não atenderam o modelo de decréscimo da propriedade ao longo do fuste.

Para o *Pinus caribaea* var. *caribaea* a massa específica decresceu até 50% da altura, com ligeiro aumento a 75%, e menor valor a 100%. A variação axial da massa específica para esta espécie descrita na literatura aponta para um decréscimo até 50%, com variação positiva até 100%, sendo esta altura, a altura correspondente a maior massa específica (AMARAL; FERREIRA; COUTO, 1977).

Em relação ao *Pinus chiapensis*, observa-se que a massa específica reduziu até 50% da altura, apresentando a 75% seu maior valor, e tornando a reduzir novamente. Não foram encontrados na literatura pesquisas com esta espécie que apresentassem a variação da propriedade ao longo do fuste.

Para as espécies *Pinus maximinoi*, *Pinus oocarpa* e *Pinus taeda*, os valores médios diminuíram até 50%, aumentando consideravelmente a 75% e tornando a diminuir. Para o *Pinus maximinoi*, Klock (2000) relata a partir de seu estudo com árvores de 10 anos, que a massa específica apresentou constante redução ao longo

do fuste. Para o *Pinus oocarpa*, Amaral, Ferreira e Couto (1977) descrevem a partir de árvores com 6 anos, redução da massa específica até 60%, variando sem um padrão definido a partir desta altura até 100%. Para a idade de 12 anos, estes autores observaram uma redução da propriedade até aproximadamente 25%, mantendo-se constante até aproximadamente 50% e a partir daí reduzindo até 100%; e para árvores de 13 anos, tais autores evidenciaram redução uniforme ao longo de toda a altura. Mendes *et al.* (2001) obtiveram para árvores de 14 anos, redução da base até o DAP, com aumento a 25% da altura, seguida da variação negativa até 100%. Já Rezende, Severo e Quintana (1999), apontam para a redução da massa específica ao longo do fuste para indivíduos com 24 anos, assim como Klock (1989) para árvores de 14 e 18 anos.

Em relação ao *Pinus taeda*, a redução no sentido base-topo foi evidenciada por Klock (2000) em árvores de 10 anos provenientes de Ventania – PR, Mattos *et al.* (2001) que avaliaram árvores de 13 anos oriundas de Quedas do Iguaçu – PR e por Chies (2005) que estudou a influência do espaçamento sobre a qualidade da madeira a partir de árvores com 21 anos oriundas da região de Três Barras – SC, sendo estes resultados, ligeiramente diferentes dos obtidos neste trabalho, os quais não seguiram o padrão de decréscimo ao longo do fuste.

7.4.1.3 Influência do teor de umidade sobre a massa específica

Considerando a influência que o teor de umidade exerce sobre a propriedade de massa específica, são apresentados na Tabela 7.6, os valores médios da massa específica verde, massa específica aparente a 12% e massa específica básica, sendo estes valores obtidos a partir dos corpos de prova utilizados nos ensaios mecânicos e determinados pelo método estereométrico. São apresentadas também, as equações lineares entre massa específica básica e massa específica aparente a 12%, obtidas por regressão.

TABELA 7.6 – INFLUÊNCIA DO TEOR DE UMIDADE SOBRE A MASSA ESPECÍFICA DA MADEIRA

Espécie	ME _{verde} (g/cm ³)	ME _{12%} (g/cm ³)	ME _{básica} (g/cm ³)	Equação	r ¹
<i>Pinus c. bahamensis</i>	0,869	0,484	0,412	ME _{12%} = - 8,3952 + 1,1643 x ME _b	0,997*
<i>Pinus c. caribaea</i>	0,838	0,433	0,374	ME _{12%} = 6,4762 + 1,1255 x ME _b	0,998*
<i>Pinus c. hondurensis</i>	0,850	0,500	0,431	ME _{12%} = - 5,8951 + 1,1584 x ME _b	0,999*
<i>Pinus chiapensis</i>	0,692	0,440	0,377	ME _{12%} = 2,0864 + 1,131 x ME _b	0,996*
<i>Pinus maximinoi</i>	0,838	0,530	0,443	ME _{12%} = - 39,1275 + 1,2317 x ME _b	0,992*
<i>Pinus oocarpa</i>	0,839	0,540	0,445	ME _{12%} = 1,9261 + 1,1402 x ME _b	0,998*
<i>Pinus tecunumanii</i>	0,829	0,561	0,476	ME _{12%} = - 1,9517 + 1,152 x ME _b	0,998*
<i>Pinus taeda</i>	0,831	0,516	0,430	ME_{12%} = - 5,3944 + 1,1543 x ME_b	0,998*

ME: massa específica; ¹ Correlação entre ME_{12%} e ME_{básica} * significativo a 95% de probabilidade.

Os resultados obtidos para esta propriedade a partir das diferentes condições físicas demonstram grande similaridade aos valores apresentados por Tsoumis (1981) que apresenta massa específica de 0,858 g/cm³ quando as amostras apresentam teor de umidade de 100%, e, 0,515 g/cm³ quando a umidade é reduzida para 10%.

Em relação a massa específica aparente a 12%, é relevante destacar que sua determinação nesta condição é relativamente importante, visto que as indústrias madeireiras que geram produtos de alto valor agregado (móveis, pisos, portas, molduras, etc) utilizam valores das propriedade na umidade de equilíbrio de 12%, por estarem mais próximos da condição de uso final.

Considerando as relações existentes entre massa específica aparente e massa específica básica, são observados coeficientes de correlação significativos e elevados, indicando que caso haja a necessidade de se conhecer uma das

propriedades sem alterar sua condição física, esta determinação é totalmente possível e com um elevado grau de confiabilidade.

7.4.2 Madeira juvenil

7.4.2.1 Proporção de madeira juvenil

Na Tabela 7.7 são apresentados os resultados médios para a proporção de madeira juvenil e adulta das espécies estudadas.

TABELA 7.7 – RESULTADOS MÉDIOS DO PERCENTUAL DE MADEIRA JUVENIL E MADEIRA ADULTA

Espécie	Madeira Juvenil (%)	Madeira Adulta (%)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	68,54 abc (6,92)	31,46 abc (15,06)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	73,03 ab (4,44)	26,97 bc (12,02)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	64,56 bc (6,26)	35,44 ab (11,40)
<i>Pinus chiapensis</i>	63,75 bc (9,43)	36,25 ab (16,58)
<i>Pinus maximinoi</i>	63,55 bc (9,24)	36,45 ab (16,11)
<i>Pinus oocarpa</i>	64,84 bc (3,39)	35,16 ab (6,25)
<i>Pinus tecunumanii</i>	61,02 c (13,56)	38,98 a (20,91)
<i>Pinus taeda</i>	78,39 a (3,41)	21,61 c (12,37)
<i>p</i>	0,000*	0,000*

Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna são estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade. *significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo; Valores entre parêntesis referem-se ao coeficiente de variação das amostras.

Na avaliação do percentual de madeira juvenil das espécies, observa-se que o *Pinus taeda* apresentou o maior valor médio para a variável. Nota-se também, que as variedades *bahamensis* e *caribaea*, relativas à espécie *Pinus caribaea*, apresentaram também os maiores percentuais entre as espécies estudadas, sendo ambas, com valores médios estatisticamente iguais à espécie testemunha.

Por outro lado, o *Pinus tecunumanii* apresentou o menor valor médio, no entanto, quando comparado com as demais espécies tropicais, apresenta diferença estatística significativa somente em relação ao *Pinus caribaea* var. *caribaea*.

Quanto maior o percentual de madeira juvenil pode-se dizer que menor é a qualidade da madeira para aplicações em produtos sólidos. Essa menor qualidade é justificada pelo fato de que a madeira juvenil apresenta fibras ou traqueóides mais curtos, menor massa específica, maior ângulo microfibrilar na camada S₂ da parede celular, menor percentual de lenho tardio, contração longitudinal mais acentuada, maior proporção de lenho de reação, maior teor de lignina e hemicelulose e menor teor de celulose. Todas estas características, por consequência, geram propriedades físicas mais instáveis e propriedades mecânicas inferiores (BENDSTEN, 1978; PANSHIN; DE ZEEUW, 1980; ZOBEL, 1981; ZOBEL, 1984, SENFT; BENDSTEN; GALLIGAN, 1985; ZOBEL; BUIJTENEN, 1989; KLOCK, 2000). Em função do exposto acima, Brown e McWilliams (1989) complementam que em coníferas a madeira juvenil é considerada um problema significativo, e como as indústrias de base florestal demandam grandes volumes para suprir seus processos, a quantidade comercializada deste tipo de madeira é elevada, trazendo consigo problemas na qualidade dos produtos.

Os relatos apresentados na literatura afirmam que a proporção de madeira juvenil numa árvore depende da idade (KELLINSON, 1981; TSOUMIS, 1991), onde a proporção de madeira juvenil numa árvore de *Pinus taeda* com 15 anos é de aproximadamente 85% do volume; em indivíduos com 25 anos esta proporção é reduzida para 55% e aos 45 anos estima-se que a árvore apresente somente 19% (KELLINSON, 1981). Já Senft (1986) e Tsoumis (1991) descrevem que em árvores de 15 anos esta proporção seja correspondente a 40% do volume e aos 40 anos este percentual seja de 25%. Para árvores com idade em torno de 100 anos, este valor é de aproximadamente 5% (BENDSTEN; SENFT, 1986).

Considerando estes valores de referência e comparando com os resultados médios apresentados neste trabalho, nota-se que a espécie *Pinus taeda* (78,39% de madeira juvenil com 18 anos), situa-se entre os valores de referência, no entanto, aproxima-se mais do valor apresentado por Kellinson (1981). Aos 15 anos, possivelmente esta proporção seja praticamente igual aos resultados obtidos por este autor.

Em relação às demais espécies, pode-se dizer também que todas apresentaram valores médios muito próximos aos resultados descritos por Kellinson (1981).

O conhecimento da presença e proporção da madeira juvenil é extremamente importante nos processos industriais de transformação da madeira. Para a geração de produtos sólidos, a madeira juvenil irá influenciar no comportamento dimensional e na resistência, podendo gerar produtos com defeitos ou de qualidade inferior, dependendo dos métodos de processamento empregado. Nos processos de produção de polpa celulósica, cavacos oriundos de madeira juvenil e adulta, frequentemente resultam num processo de deslignificação inadequado, produzido uma quantidade de madeira com cozimento excessivo e outra com baixo cozimento, influenciando as propriedades do papel. Em relação à laminação, a madeira juvenil normalmente resulta num menor rendimento de lâminas, maior dificuldade para laminar, lâminas de menor qualidade e maior consumo de adesivo.

7.4.2.2 Proporção de madeira juvenil ao longo do fuste

Na Tabela 7.8 são apresentadas as proporções médias de madeira juvenil ao longo do fuste das espécies avaliadas.

Nesta avaliação, observa-se que para a altura a 0%, a espécie testemunha apresentou o maior valor médio, sendo estatisticamente igual ao *Pinus caribaea* var. *caribaea*. Não foi constatada diferença estatística significativa entre as espécies de *Pinus* tropicais.

Nas alturas a 25% e 50%, pode ser verificada uma maior variabilidade de acordo com a análise de variância, no entanto, o *Pinus taeda* novamente apresenta

TABELA 7.8 – RESULTADOS MÉDIOS DO PERCENTUAL DE MADEIRA JUVENIL AO LONGO DO FUSTE DE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

Espécie	0% (%)	25% (%)	50% (%)	75% (%)	100% (%)	<i>p</i>
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	^A 46,12 b (16,86)	^B 61,74 ab (12,05)	^C 78,84 abc (7,10)	^C 100 b -	^C 100 a -	0,000*
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	^A 58,25 ab (3,91)	^A 63,30 ab (8,73)	^B 80,23 abc (3,11)	^C 100 b -	^C 100 a -	0,000*
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	^A 43,77 b (14,31)	^A 49,63 b (10,63)	^B 74,50 bcd (8,32)	^C 100 b -	^C 100 a -	0,000*
<i>Pinus chiapensis</i>	^A 45,62 b (22,16)	^A 58,98 ab (17,84)	^B 85,53ab (4,67)	^C 100 b -	^C 100 a -	0,000*
<i>Pinus maximinoi</i>	^A 50,62 b (15,66)	^A 50,30 b (14,36)	^B 76,14 bcd (11,04)	^C 100 b -	^C 100 a -	0,000*
<i>Pinus oocarpa</i>	^A 47,78 b (11,45)	^A 50,36 b (6,28)	^B 70,03 cd (4,06)	^C 100 b -	^C 100 a -	0,000*
<i>Pinus tecunumanii</i>	^A 45,61 b (16,44)	^A 48,69 b (31,90)	^A 64,41 d (13,68)	^B 89,65 a (6,77)	^B 100 a -	0,000*
<i>Pinus taeda</i>	^A 65,21 a (10,47)	^A 71,26 a (5,67)	^B 87,67 a (3,85)	^C 100 b -	^C 100 a -	0,000*
<i>p</i>	0,000*	0,001*	0,000*	0,000*	0,000*	

Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma coluna (a direita, minúscula e em fonte normal) indicam diferenças no percentual de madeira juvenil na altura entre espécies, e são estatisticamente diferentes pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade. Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma linha, (a esquerda, maiúscula e em fonte subscrita) indicam diferenças no percentual de madeira juvenil ao longo do fuste na espécie e são estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo; Valores entre parêntesis referem-se ao coeficiente de variação das amostras.

os maiores valores médios, sendo em ambas as posições, estatisticamente diferente das espécies *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Pinus maximinoi*, *Pinus oocarpa* e *Pinus tecunumanii*.

Para a altura relativa a 75% do fuste, apenas a espécie *Pinus tecunumanii* apresentou percentual de madeira adulta (10,35%), a qual constitui diferença estatística entre as demais espécies avaliadas, podendo-se dizer, que para a referida altura e também para o fuste, esta espécie tende a apresentar melhor qualidade da madeira.

A 100% da altura comercial, todas as espécies apresentam exclusivamente madeira juvenil em sua composição, caracterizando as toras oriundas desta parte do fuste, toras mais instáveis e conseqüentemente com menor qualidade.

Avaliando o comportamento da madeira juvenil ao longo do fuste de cada espécie, pode-se dizer que o *Pinus tecunumanii* é a espécie que apresenta madeira de melhor qualidade, onde além de apresentar menor proporção em cada altura, não revelou diferença estatística para a variável até 50% da altura comercial.

As espécies *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Pinus chiapensis*, *Pinus maximinoi*, *Pinus oocarpa* e a testemunha *Pinus taeda*, apresentaram-se como espécies intermediárias com madeira juvenil estatisticamente igual até 25% da altura comercial.

Já a espécie *Pinus caribaea* var. *bahamensis* apresentou para a seção entre 0% a 50%, diferenças estatísticas significativas em cada posição, gerando com isso maior variabilidade de propriedades.

Em comparação com a literatura, observa-se que os resultados obtidos são condizentes com Zobel e Talbert (1984), que afirmam que existe menor proporção de madeira juvenil na base e maior proporção no topo. É possível afirmar ainda, em função dos dados de medição bruta, que os resultados obtidos estão de acordo com Zobel *et al*, (1972) que afirmam que todo o lenho formado a partir do diâmetro de 10,20 cm do topo é madeira juvenil.

Considerando os valores de referência descritos na literatura para estas espécies, observa-se que os valores médios obtidos por Klock (1989), para o *Pinus oocarpa* com 14 e 18 anos, na altura do DAP foram de 77,30% e 48,16%,

respectivamente. Embora os resultados determinados neste trabalho apresentem os valores nas posições relativas de 0%, 25%, 50%, 75% e 100%, é possível estabelecer uma comparação com os resultados entre 0% e 25% da altura comercial, onde nota-se que as árvores de 14 anos apresentam valor médio superior, sendo este resultado explicado pela menor idade, e as árvores com 18 anos apresentaram valor médio (48,16%) no intervalo dos valores médios obtidos para as alturas de 0% e 25% deste trabalho.

Segundo os resultados obtidos por este mesmo autor, no entanto para o *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, para plantio de 14 e 20 anos, com medição também na região do DAP, percebe-se novamente, que os valores para 14 anos (74,19%) foram superiores ao deste trabalho, evidenciando a influência do fator idade, e os valores médios para a idade de 20 anos (45,73%) situaram-se no intervalo dos valores determinados para as alturas de 0% e 25% (43,77% e 49,63%).

Para a espécie *Pinus maximinoi*, avaliada por Klock (2000) aos 10 anos, a qual continha exclusivamente madeira juvenil e era proveniente do mesmo experimento utilizado neste trabalho, verifica-se que o aumento de idade de 8 anos, proporcionou a redução de madeira juvenil de 100% para 63,55%.

Observando os dados obtidos por Chies (2005) em avaliação de árvores de *Pinus taeda* com 21 anos, provenientes de diferentes espaçamentos, o qual obteve valor médio de 57,10% (49,17% a 63,59%) para amostras da base, verifica-se que os valores médios determinados para esta mesma posição, no presente trabalho são superiores (65,21%). A explicação para esta diferença está relacionada, como mencionado ao longo deste capítulo, no fator idade, onde o referido autor desenvolveu a análise em árvores com 21 anos.

7.4.3 Percentual de lenho inicial e lenho tardio

Na Tabela 7.9 podem ser visualizados os percentuais de lenho inicial e tardio das espécies de *Pinus* tropicais.

TABELA 7.9 – RESULTADOS MÉDIOS DO PERCENTUAL DE LENHO INICIAL E LENHO TARDIO

Espécie	Lenho inicial (%)	Lenho tardio (%)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	84,36 a (2,40)	15,64 b (13,93)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	84,47 a (1,82)	15,53 b (10,21)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	86,33 a (1,16)	13,67 b (7,31)
<i>Pinus chiapensis</i>	88,05 a (1,21)	11,95 b (8,88)
<i>Pinus maximinoi</i>	86,04 a (1,31)	13,96 b (8,07)
<i>Pinus oocarpa</i>	85,89 a (1,94)	14,11 b (11,83)
<i>Pinus tecunumanii</i>	84,47 a (1,27)	15,53 b (6,91)
<i>Pinus taeda</i>	71,04 b (6,39)	28,96 a (15,67)
<i>p</i>	0,000*	0,000*

Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna são estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade. *significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo; Valores entre parêntesis referem-se ao coeficiente de variação das amostras.

A análise de variância demonstrou que todas as espécies apresentaram maior percentual de lenho inicial quando comparadas com o *Pinus taeda*, e conseqüentemente, menor percentual de lenho tardio, sendo estatisticamente diferentes da testemunha. Entre as espécies de *Pinus* tropicais, não foi evidenciada diferença estatística significativa, onde inclusive os valores médios foram muito próximos entre si.

Uma maior quantidade de lenho tardio normalmente é desejada quando se avalia este parâmetro, proporcionando com isso matéria-prima com maior quantidade de células com parede celular mais espessa, o que geralmente implica em maior massa específica, e conseqüentemente melhores propriedades, sobretudo de resistência mecânica. Por outro lado, o maior percentual de lenho tardio em

diferentes espécies não deve implicar em maior massa específica para a espécie em destaque, devendo também ser considerado as características anatômicas e a composição química. Já para produção de lâminas e produtos de madeira colada, as variações de percentual de lenho inicial e tardio torna-se um problema do ponto de vista operacional, devido as variações de resistência das lâminas e da capacidade de absorção de adesivos.

Considerando pesquisas relacionadas a esta variável, verifica-se que Shimoyama (2005) obteve para as duas primeiras toras em árvores de *Pinus taeda* com 28 anos, valor médio de 57,80% de lenho inicial e 42,20% de lenho tardio, sendo o lenho tardio superior aos mencionados neste trabalho para esta espécie, cujo valor médio foi de 28,96%. Este fato é explicado em função das diferentes idades avaliadas, onde uma maior idade implica diretamente na redução do percentual de madeira juvenil e consequente aumento na proporção de madeira adulta, a qual possui maior quantidade de lenho tardio.

Klock (2000) avaliando a proporção de lenho tardio em madeira juvenil de *Pinus maximinoi* com 10 anos de idade obteve valor médio de 6,31% (não ponderado em relação ao diâmetro e posição da amostra); para o *Pinus taeda* com mesma idade e crescendo no mesmo sítio o valor médio (também não ponderado) foi de 26,87 %. Comparando o valor médio destas duas espécies, com os valores médios determinados nesta pesquisa, observa-se, que tanto para o *Pinus maximinoi* quanto para o *Pinus taeda*, os quais são também procedentes do mesmo sítio, no entanto com 18 anos de idade, os valores foram inferiores. Para o *Pinus maximinoi* o aumento do percentual de lenho tardio foi muito mais acentuado passando de 6,31% para 13,96% (aumento de 121%). Para o *Pinus taeda* a variação do lenho tardio foi menor, passando de 26,87% para 28,96% (aumento de 7,78%).

Klock (1989) analisando o percentual de lenho tardio em *Pinus oocarpa*, obteve valores médios de 8,10% e 20,30% e 8,80% e 28,00% para região interna (próxima a medula) e para região externa, em árvores de 14 e 18 anos respectivamente. Para o *Pinus caribaea* var. *hondurensis* este mesmo autor determinou valores médios de 8,00% e 21,80% para árvores de 14 anos e 11,10% e 31,90% para indivíduos de 18 anos, ambos procedentes de Agudos – SP e para região interna e externa, respectivamente. Em uma superficial comparação, nota-se que os valores médios obtidos por este autor (região interna + externa), foram

superiores aos valores determinados neste trabalho, inclusive para as idades de 14 anos, onde estes resultados possivelmente estão relacionados ao local de plantio e condições de crescimento.

Em relação aos resultados apresentados por Andrade (2006) verifica-se que este autor obteve para plantios de *Pinus taeda* localizados na região de Telêmaco Borba – PR, valores médios de lenho tardio de 13,22%, 18,82% e 23,38% para plantios com 8, 14 e 20 anos, respectivamente. Observa-se que mesmo para a idade 20 anos, os resultados determinados por este autor foram inferiores, sendo os mesmos justificados pelo fator sítio de crescimento e em função de que o referido autor utilizou em seu experimento plantios de usos múltiplos com elevada produtividade, o que proporciona maiores crescimento e produção volumétrica, no entanto produz madeira de com menor massa específica e conseqüentemente menor percentual de lenho tardio.

7.4.3.1 Percentual de lenho tardio ao longo do fuste

A Tabela 7.10 apresenta os resultados médios determinados para os percentuais de lenho inicial e tardio, ao longo do fuste das árvores das diferentes espécies de *Pinus* tropicais.

Exceto o *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, todas as espécies apresentaram o decréscimo do percentual de lenho tardio ao longo do fuste.

Analisando as respectivas posições ao longo do fuste, observa-se que para todas as alturas o *Pinus taeda* apresentou os maiores resultados médios, com diferença estatística significativa em relação às demais espécies.

Comparando as espécies de *Pinus* tropicais, nota-se que para a base da árvore, ocorreu diferença estatística somente entre o *Pinus tecunumanii* e o *Pinus chiapensis*, sendo o *Pinus tecunumanii* a espécie com maior proporção de lenho tardio. Na altura a 25% as diferenças estatísticas foram observadas entre o *Pinus caribaea* var. *bahamensis* (maior percentual) e o *Pinus chiapensis* e na altura de 50%, o *Pinus caribaea* var. *caribaea*, pela sua maior proporção de lenho tardio

TABELA 7.10 – RESULTADOS MÉDIOS DO PERCENTUAL DE LENHO TARDIO AO LONGO DO FUSTE DE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

Espécie	LENHO TARDIO (%)					p
	0%	25%	50%	75%	100%	
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	A 18,47 bc (5,87)	A 19,27 b (24,15)	AB 13,87 bc (20,91)	BC 11,49 b (23,47)	C 7,44 b (28,97)	0,000*
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	A 17,90 bc (11,63)	A 15,79 bc (5,38)	AB 14,53 b (17,25)	BC 11,59 b (19,54)	C 8,47 b (33,23)	0,000*
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	A 17,69 bc (10,68)	B 14,50 bc (7,04)	BC 12,12 bc (15,11)	CD 9,51 b (15,96)	D 6,87 b (15,04)	0,000*
<i>Pinus chiapensis</i>	A 14,24 c (11,02)	B 11,43 c (7,76)	B 10,83 bc (9,92)	C 7,35 b (25,92)	C 6,08 b (12,90)	0,000*
<i>Pinus maximinoi</i>	A 18,70 bc (6,59)	B 14,69 bc (8,10)	C 9,74 c (13,05)	C 9,43 b (18,47)	C 8,25 b (9,74)	0,000*
<i>Pinus oocarpa</i>	A 19,74 bc (11,80)	B 14,61 bc (10,51)	BC 11,77 bc (12,20)	C 9,47 b (18,72)	D 6,08 b (1,16)	0,000*
<i>Pinus tecunumanii</i>	A 22,10 b (11,37)	B 14,68 bc (10,91)	BC 11,74 bc (6,63)	C 10,37 b (2,24)	C 8,22 b (0,85)	0,000*
<i>Pinus taeda</i>	A 39,21 a (18,80)	B 27,71 a (18,14)	AB 23,35 a (15,26)	AB 23,11 a (18,13)	C 14,23 a (24,87)	0,000*
p	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*	0,001*	

Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna (a direita, minúscula e em fonte normal) avaliam o percentual dos lenhos inicial e tardio na altura entre espécies, e são estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra na mesma linha, (a esquerda, maiúscula e em fonte subscrita) avaliam o percentual dos lenhos inicial e tardio ao longo do fuste na espécie e são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo; Valores entre parêntesis referem-se ao coeficiente de variação das amostras.

diferiu do *Pinus maximinoi*. Para as alturas de 75% e 100% não houve diferença estatística significativa entre as espécies de *Pinus* tropicais.

No Gráfico 7.2 pode ser melhor visualizado a variação do lenho tardio ao longo do fuste para as espécies estudadas, com visível destaque para o *Pinus taeda* e homogeneidade de valores entre as demais espécies.

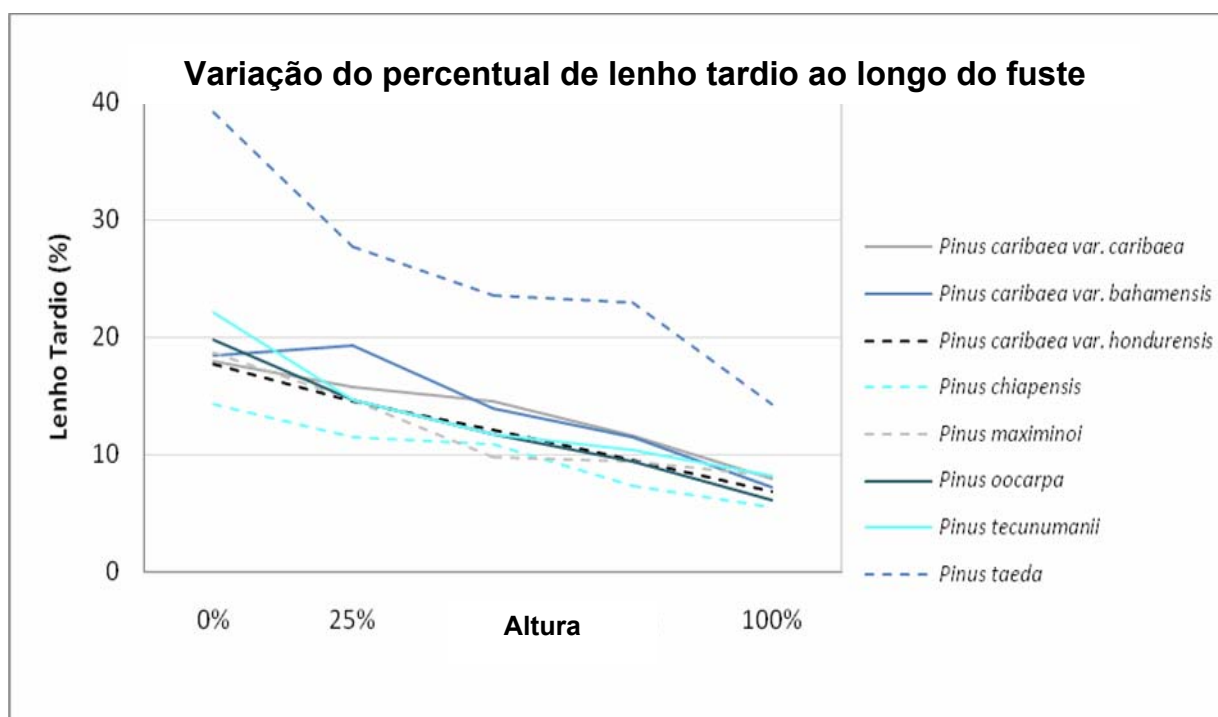


GRÁFICO 7.2 – VARIAÇÃO DO PERCENTUAL DE LENHO TARDIO AO LONGO DO FUSTE

Avaliando a variação do lenho tardio ao longo do fuste em cada espécie, é possível verificar que o *Pinus caribaea* var. *bahamensis* e *Pinus caribaea* var. *caribaea*, foram as espécies que apresentaram maior homogeneidade nesta propriedade, não apresentando diferença estatística significativa para as médias entre as posições relativas de 0%, 25% e 50% da altura comercial.

Embora as relações existentes entre massa específica e lenho tardio sejam abordadas no item correlações, vale efetuar uma breve comparação visual entre os Gráficos 7.1 e 7.2, e entre as Tabelas 7.5 e 7.10 especificamente para a espécie *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, onde o aumento da massa específica para a altura

relativa a 25% é explicada e justificada pelo aumento do percentual de lenho tardio nesta mesma posição.

7.4.3.2 Percentual de lenho inicial e tardio na madeira juvenil e adulta

A Tabela 7.11 apresenta a variabilidade do percentual de lenho inicial e lenho tardio nas proporções da madeira juvenil e na madeira adulta.

TABELA 7.11 – RESULTADOS MÉDIOS DO PERCENTUAL DE LENHO INICIAL E LENHO TARDIO NA MADEIRA JUVENIL E NA MADEIRA ADULTA

Espécie	Madeira Juvenil		Madeira Adulta	
	LI (%)	LT (%)	LI (%)	LT (%)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	86,43 a (1,87)	13,57 b (11,90)	72,91 b (8,83)	27,09 b (23,78)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	87,33 a (1,28)	12,67 b (8,83)	70,54 b (8,57)	29,46 b (20,52)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	88,20 a (0,67)	11,80 b (5,03)	78,70 ab (4,89)	21,30 bc (18,06)
<i>Pinus chiapensis</i>	88,82 a (1,41)	11,18 b (11,22)	84,44 a (1,81)	15,56 c (9,80)
<i>Pinus maximinoi</i>	87,78 a (1,21)	12,22 b (9,89)	79,26 ab (2,65)	20,74 bc (10,11)
<i>Pinus oocarpa</i>	87,24 a (1,46)	12,76 b (11,42)	79,20 ab (3,87)	20,80 bc (14,74)
<i>Pinus tecunumanii</i>	85,78 a (0,65)	14,22 b (3,91)	78,17 ab (5,07)	21,83 bc (18,15)
<i>Pinus taeda</i>	73,13 b (5,60)	26,87 a (15,24)	50,41 c (15,32)	49,59 a (15,58)
<i>p</i>	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*

Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna são estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade. *significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo; Valores entre parêntesis referem-se ao coeficiente de variação das amostras.

Nota-se, que na madeira juvenil, o *Pinus taeda* foi a espécie que apresentou o maior percentual médio de lenho tardio, diferindo estatisticamente de todas as

demais espécies. Entre as espécies de *Pinus* tropicais, não foi evidenciada diferença estatística significativa.

Para a madeira adulta, verifica-se também que o *Pinus taeda* apresentou o maior percentual, demonstrando também, diferença estatística significativa em relação as demais espécies, as quais diferem estatisticamente entre si. Observa-se que as diferenças estatísticas entre os *Pinus* tropicais, foram entre as espécies *Pinus caribaea* var. *bahamensis* e *Pinus caribaea* var. *caribaea* x *Pinus chiapensis*, tendo as duas primeiras espécies apresentado os maiores percentuais médios de lenho tardio na madeira adulta.

Comparando o percentual de lenho tardio obtido na madeira juvenil e na madeira adulta, percebe-se que a maior ocorrência desta variável é encontrada na madeira adulta. Este resultado é explicado segundo as discussões estabelecidas por Panshin e De Zeeuw (1980), que afirmam que no início do crescimento da planta, o ritmo de divisão celular é mais acelerado, produzindo maior percentual de lenho inicial nos primeiros 10 anos. Com o passar do tempo, o crescimento tende a se estabilizar ou então até estagnar devido a intensa concorrência entre árvores, proporcionando desta forma, maior percentual de lenho tardio na parte mais externa do tronco, a qual implica em maior massa específica e conseqüentemente em maior resistência mecânica.

Em relação aos resultados apresentados por outros pesquisadores, para estas características, verifica-se que os resultados encontrados neste trabalho para a espécie *Pinus taeda* são similares ao obtidos por Lara Palma e Ballarin (2006), que avaliando as relações entre compressão paralela e características de crescimento em árvores de *Pinus taeda* com 33 anos de idade provenientes da região de Itapeva – SP obtiveram valor médio de 24% de lenho tardio na madeira juvenil e 38% de lenho tardio na madeira adulta. Já em relação às demais espécies de *Pinus* tropicais estes valores são superiores tanto na madeira juvenil como na madeira adulta. Esta grande diferença, além de estar associada às características intrínsecas das espécies, estão também associadas a idade, principalmente na madeira adulta, onde quanto maior a idade maior o percentual de lenho tardio nesta região devido a menor intensidade de crescimento e regularidade dos anéis.

7.4.4 Largura dos anéis de crescimento

Os valores médios obtidos para a largura os anéis de crescimento são apresentados na Tabela 7.12.

Observa-se uma grande variação nas larguras dos anéis, onde os valores variaram entre 4,06 mm a 20,35 mm, confirmando as informações apresentadas por Knigge e Schulz (1966)¹² citados por Klock (2000), que afirmam que existem grandes variações de largura dos anéis dentro de uma árvore, tanto no plano transversal como em função de sua altura.

Pode-se notar ainda, que o crescimento mais favorável para todas as espécies se dá até os 8 anos de idade, com maior ênfase para os anos 3°, 4°, 5° e 6°. Este maior crescimento nos primeiros anos de vida de uma árvore é justificado pelo fato de que no início do crescimento as árvores dispõem de intensa atividade fisiológica, com grande disponibilidade de luz e nutrientes, favorecendo com isso o crescimento. Após alguns anos aumenta a concorrência entre elas, onde o incremento vai se tornando menor, assim os anéis vão se tornando mais estreitos até sua estabilização e estagnação.

Outro fato a ser observado e que está diretamente relacionado a qualidade da madeira diz respeito a madeira juvenil. Pode-se dizer que até o 10° ano houve a estabilização do crescimento para a maioria das espécies, indicando até esta idade a presença de madeira juvenil¹³, como afirmado por Cown (1980). Uma análise mais minuciosa indica que para as espécies, *Pinus maximinoi*, *Pinus oocarpa* e *Pinus taeda*, a estabilidade na largura do anel pode ser evidenciada a partir do 7° ano. Para as três variedades de *Pinus caribaea*, e para o *Pinus tecunumanii* a estabilização ocorre até o 8° ano. Já para o *Pinus chiapensis*, observa-se que a grande variação na largura dos anéis ocorre até o 11°, sendo constatada uma homogeneidade nesta variável a partir do 12° ano. De maneira geral, a partir do 10°/11°, as espécies apresentam uma maior homogeneidade nos anéis, indicando que a partir desta região a qualidade da madeira é melhor e mais estável.

¹² KNIGGE, W.; SCHULTZ, H. **Growndise der Forestbenutzung**. Verlag Paul Parey, Hamburg and Berlin. 1966. 584p.

¹³ A definição do ponto limite entre madeira juvenil e adulta, só pode ser confirmada por meio da medição dos elementos anatômicos ao longo de cada anel de crescimento.

TABELA 7.12 – VALORES MÉDIOS DA LARGURA DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO

Espécie	Ano – Largura (mm)																	
	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	13°	14°	15°	16°	17°	18°
P.c.b. ¹	5,66	8,14	13,88	17,32	17,77	12,21	13,02	11,62	8,18	8,37	8,46	7,84	8,17	8,31	7,20	6,49	6,39	
P.c.c. ²	7,68	11,49	13,48	14,25	14,43	13,31	14,79	14,47	9,76	8,99	9,89	8,07	8,25	7,72	6,75	6,24	6,48	
P.c.h. ³	7,63	10,85	11,00	12,91	13,60	10,12	10,58	11,62	9,97	9,81	9,83	8,50	8,82	7,67	9,10	7,70	5,95	6,55
P.c. ⁴	7,25	10,38	13,76	12,79	14,78	16,84	15,46	17,03	15,46	15,33	13,35	10,69	10,52	9,36	8,04	7,74	6,89	6,33
P.m. ⁵	8,53	13,78	19,59	10,16	17,00	16,52	14,63	11,77	11,49	11,05	10,14	8,07	6,70	5,95	7,42	7,05	4,35	6,29
P.o. ⁶	7,43	10,60	11,16	16,69	14,77	15,13	13,18	11,06	10,26	11,51	8,34	7,52	7,33	6,42	8,07	6,55	4,83	6,35
P.t. ⁷	7,25	12,40	21,33	20,35	18,51	15,98	12,81	12,22	10,43	10,42	10,65	9,28	8,32	8,20	9,45	7,44	5,38	6,59
P.ta. ⁸	7,18	14,98	13,55	16,09	19,54	12,08	11,62	9,83	9,30	8,97	6,22	6,26	6,53	6,67	6,05	4,06	4,42	4,55

¹ P.c.b.: *Pinus caribaea* var. *bahamensis*; ² P.c.c.: *Pinus caribaea* var. *caribaea*; ³ P.c.h.: *Pinus caribaea* var. *hondurensis*; ⁴ P.c.: *Pinus chiapensis*; ⁵ P.m.: *Pinus maximinoi*; ⁶ P.o.: *Pinus oocarpa*; ⁷ P.t.: *Pinus tecunumanii*; ⁸ P.ta.: *Pinus taeda*.

Em comparação com os resultados relatados por Loo, Tauer e McNew (1985) que avaliando a idade de transição entre madeira juvenil e adulta a partir da massa específica, verificaram que para *Pinus caribaea* esta idade está entre o 5° e o 6° ano, onde os resultados encontrados neste trabalho a partir da análise da largura dos anéis indicou transição da madeira juvenil para a adulta entre o 8° e o 9° ano.

Comparando com os resultados obtidos por Pereira e Tomaselli (2004) a partir da avaliação da influência do desbaste na qualidade da madeira de *Pinus elliottii* aos 15 anos, verifica-se que as larguras dos anéis de crescimento localizados entre o 9° e o 14° ano variaram no intervalo de 2,6 mm a 7,6 mm, sendo estas larguras ligeiramente inferiores as larguras determinadas para as diferentes espécies deste trabalho, também para a mesma região avaliada. Observa-se ainda, que o tratamento 3 que passou por desbaste onde o grau de intensidade manteve 25% da área basal em relação à testemunha (espaçamento do povoamento: 2 x 2 m), mostrou a maior semelhança com os resultados obtidos neste trabalho, onde para este caso a largura variou entre 5,9 mm e 7,60 mm.

7.4.5 Retratibilidade

Na Tabela 7.13 são apresentados os resultados médios obtidos para as propriedades de contração radial, tangencial e volumétrica e para a anisotropia de contração. São apresentados também os valores médios de massa específica verde, massa específica aparente a 12% e a 0% de umidade e massa específica básica, para fins de comparação.

Considerando os intervalos de variação descritos por Tsoumis (1991), para contração de madeiras classificadas como *softwood*, verifica-se que para a contração radial, exceto a espécie *Pinus chiapensis*, todas as demais espécies apresentaram-se dentro do intervalo de 2,1% a 5,1%. Para a contração tangencial todas as espécies enquadraram-se dentro do intervalo de 4,4% a 9,1%, assim como dentro do intervalo de contração volumétrica, de 6,8% a 14%. Em relação as proposição de Skaar (1972) que afirma que a magnitude da grandeza de contração entre o ponto de saturação das fibras e o estado completamente seco para a maioria

TABELA 7.13 – RESULTADOS MÉDIOS DA ESTABILIDADE DIMENSIONAL DAS ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

Espécie	β_{tang}	β_{rad}	β_{vol}	A_c	ME _{verde}	ME _{12%}	ME _{básica}	ME _{0%}
	(%)	(%)	(%)		(g/cm ³)	(g/cm ³)	(g/cm ³)	(g/cm ³)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	6,12 ab (22,17)	2,64 bc (37,16)	8,78 c (22,25)	2,51 b (25,67)	0,769 b (26,70)	0,456 de (17,30)	0,382 de (16,52)	0,420 ef (18,22)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	6,01 ab (27,10)	2,62 bc (40,22)	8,69 c (26,48)	2,45 b (20,38)	0,761 b (24,23)	0,477 cd (22,66)	0,411 c (27,98)	0,440 de (23,06)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	5,74 b (21,65)	2,42 c (31,66)	8,95 bc (22,79)	2,52 b (28,36)	0,991 a (14,36)	0,497 bc (14,10)	0,417 cd (13,81)	0,459 cd (14,85)
<i>Pinus chiapensis</i>	5,77 b (22,55)	1,88 d (30,75)	8,67 c (19,12)	3,26 a (27,14)	0,781 b (24,71)	0,442 e (10,77)	0,373 e (10,82)	0,408 f (10,72)
<i>Pinus maximinoi</i>	6,34 ab (18,76)	2,74 bc (31,47)	9,86 ab (20,51)	2,45 b (28,30)	0,964 a (17,95)	0,519 ab (16,25)	0,434 abc (14,44)	0,482 abc (14,58)
<i>Pinus oocarpa</i>	6,47 a (24,17)	2,89 ab (38,30)	10,22 a (25,97)	2,45 b (33,03)	0,984 a (17,89)	0,547 a (15,11)	0,452 ab (14,26)	0,505 ab (15,79)
<i>Pinus tecunumanii</i>	6,55 a (21,67)	2,81 bc (35,55)	10,07 a (23,67)	2,50 b (24,76)	0,988 a (16,85)	0,555 a (13,24)	0,463 a (12,70)	0,516 a (14,30)
<i>Pinus taeda</i>	6,44 ab (17,92)	3,38 a (38,30)	10,64 a (20,85)	2,20 c (28,08)	0,960 a (7,25)	0,502 bc (17,29)	0,415 cde (16,22)	0,467 bcd (18,53)
<i>p</i>	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*

β_{tang} : Contração tangencial; β_{rad} : Contração radial; β_{vol} : Contração volumétrica; A_c : Anisotropia de contração; ME_{verde}: massa específica verde; ME_{12%}: massa específica aparente a 12%; ME_{básica}: massa específica básica; ME_{0%}: massa específica a 0%; n: número de amostras. Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna (a direita, minúscula e em fonte normal) avaliam a propriedade na altura entre espécies, e são estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra na mesma linha, (a esquerda, maiúscula e em fonte subscrita) avaliam a propriedade ao longo do fuste na espécie e são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo; Valores entre parêntesis referem-se ao coeficiente de variação entre as amostras.

das espécies varia entre 6,0% e 12,0% para a contração tangencial e 3,0% a 6,0% para contração radial, apesar de quase todas as espécies apresentarem contração tangencial de acordo com o intervalo estipulado por este autor, apenas o *Pinus taeda* atende o intervalo de variação para os planos tangencial e radial.

Para a contração tangencial os valores variaram entre 5,74% e 6,55%, onde o menor valor médio foi apresentado pelo *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e o valor médio mais alto foi obtido a partir do *Pinus tecunumanii*. Comparando com o *Pinus taeda*, é possível constatar que nenhuma das espécies apresentou diferença estatística significativa em relação a testemunha. Por outro lado, foram evidenciadas diferenças estatísticas significativas entre as espécies experimentais *Pinus tecunumanii*, *Pinus oocarpa*, *Pinus chiapensis* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Em relação a contração radial, observa-se que o *Pinus taeda* foi a espécie que apresentou o maior valor médio, o qual diferiu estatisticamente de todas as espécies, exceto do *Pinus oocarpa*. O menor valor foi apresentado pelo *Pinus chiapensis*, sendo este estatisticamente diferente de todas as demais espécies estudadas.

Conforme preconiza a literatura todos os valores de contração radial foram inferiores a contração tangencial. De acordo com Kollmann e Côté (1968) este menor valor é explicado em grande parte pela restrição dos raios no sentido radial, e no caso das coníferas, pelo diferente arranjo helicoidal das microfibrilas nas paredes tangenciais e radiais, onde nas paredes radiais dos traqueóides existem de 50 a 300 pontoações, razão pela qual as microfibrilas são desviadas do seu curso normal.

Em relação a contração volumétrica, os valores médios variaram no intervalo de 8,67% a 10,65%, estando em conformidade com os valores apresentados por Koch (1972) que afirma que em espécies do gênero *Pinus* é bastante comum encontrar contrações de até 12%. Para esta variável, o maior valor médio foi obtido a partir do *Pinus taeda*, onde esta espécie não apresentou diferença estatística significativa em relação às espécies *Pinus maximinoi*, *Pinus oocarpa* e *Pinus tecunumanii*, formando um grupo homogêneo superior de maior contração volumétrica. Já o *Pinus chiapensis*, apresentou o menor valor médio, sendo este estatisticamente igual às três variedades de *Pinus caribaea*. Vale lembrar que embora o *Pinus maximinoi*, tenha sido agrupado em uma classe superior de

contração volumétrica, esta espécie não apresenta diferença estatística significativa em relação ao *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Para a anisotropia de contração, observa-se que a maior diferença entre contração tangencial e contração radial foi observada na espécie *Pinus chiapensis*, com valor de 3,26, o qual apresenta diferença estatística significativa em relação as demais espécies estudadas.

A menor anisotropia de contração foi apresentada pelo *Pinus taeda* (2,20) sendo este também, estatisticamente diferente de todas as outras espécies. Entre as demais espécies de *Pinus* tropicais, os valores médios variaram na faixa de 2,54 a 2,52, formando um grupo homogêneo intermediário de anisotropia.

Estabelecendo uma classificação para classes de qualidade em função do coeficiente de anisotropia apresentado por Klitzke (2007), verifica-se que nenhuma espécie apresentou anisotropia de contração inferior a 1,5 e no intervalo entre 1,6 a 2,0, caracterizando madeira estável e de excelente qualidade e madeira com qualidade normal.

Exceto o *Pinus chiapensis* que apresentou anisotropia de contração superior a 2,6 e que provavelmente irá apresentar madeira muito instável durante o processo de secagem, requerendo com isso programas específicos de secagem, todas as demais espécies apresentaram anisotropia de contração no intervalo de 2,1 a 2,5, caracterizando espécies com madeira de qualidade média baixa, podendo ocorrer defeitos como ocorrência de rachaduras, empenamentos, trincas superficiais, entre outros, caso o processo de secagem não seja bem conduzido. Além disso, a geração de produtos sólidos a partir destas espécies deverá ocorrer somente quando as mesmas apresentarem umidade de equilíbrio constante, e os produtos confeccionados com as mesmas poderão apresentar maior ocorrência de defeitos durante seu uso, caso o mesmo seja exposto em locais com grande variação da umidade relativa.

Em comparação com resultados de pesquisas realizadas com estas mesmas espécies, não foi encontrada literatura relativa às propriedades de contração e anisotropia da espécie *Pinus caribaea* var. *bahamensis*.

Para a espécie *Pinus caribaea* var. *caribaea*, Banks (1977) descreve contração tangencial de 6,70%, contração radial de 3,20% e contração volumétrica

de 10,30%; onde a partir destes valores estima-se um coeficiente de anisotropia de 2,09. Verifica-se, que os valores médios obtidos neste trabalho são menores para as contrações quando comparados com os resultados do autor acima mencionado, no entanto, a diferença entre contração tangencial e radial são maiores, gerando um coeficiente de anisotropia de 2,45, o que indica que as árvores aqui utilizadas produziram madeira mais instável. Estas diferenças podem ser explicadas pelo fato de que Banks (1977) avaliou plantios de 20-24 anos, portanto com maior idade, o que implica em maior percentual de lenho tardio e conseqüentemente massa específica. Esta maior massa específica provavelmente aumentou os valores de contração nos diferentes planos anatômicos, no entanto, tornou as diferenças de contração nos planos tangencial e radial menor, gerando assim menor coeficiente de anisotropia, o que indica a madeira com maior idade é mais estável.

Em relação ao *Pinus caribaea* var. *hondurensis* a literatura dispõe de uma maior quantidade de pesquisas, podendo-se citar Klock (1989) que obteve para plantio de 14 anos contrações médias (parte interna + externa) de 6,53% para o sentido tangencial, 3,39% para o sentido radial, contração volumétrica de 9,93%, e anisotropia de contração média de 2,03. Para o povoamento de 20 anos, este mesmo autor obteve valores médios de 8,10% para contração tangencial, 4,01% para contração radial, 12,07% para contração volumétrica e anisotropia de contração média de 2,23. Em relação a estes resultados, é observado que os valores médios obtidos no presente trabalho para as contrações são inferiores, no entanto o índice de instabilidade é superior em ambos os casos.

Gonzalez *et al.* (2009), avaliando árvores desta espécie obtiveram valores de 5,73% a 6,18% para contração tangencial, 3,35% a 4,17% para contração radial, 9,54% a 9,90 para contração volumétrica e anisotropia de contração entre 1,37 a 1,84. Em comparação, nota-se que os valores das contrações obtidas neste trabalho foram menores, no entanto a anisotropia de contração foi maior, o que significa que o material aqui utilizado apresenta maior instabilidade. Este resultado pode ser explicado pelo fato de que tais autores utilizaram em seu experimento árvores com 23 anos de idade, onde a madeira apresenta maior quantidade de matéria lenhosa, conseqüentemente maior massa específica (0,46 g/cm³), e a variação dimensional é normalmente maior na madeira de massa específica mais elevada (TSOUMIS, 1991).

Vicente *et al.* (2005) em estudo da variação das contrações, determinaram valores médios de 6,05%, 3,45%, 9,53% para contração tangencial, radial e volumétrica, e coeficiente de anisotropia de 1,80 a partir de árvores de 19 anos localizadas em Planaltina – DF. Nota-se, também para esta situação, que os valores das contrações foram ligeiramente superiores, no entanto a anisotropia de contração foi bem menor.

Ribeiro (2009) obteve para árvores com idade estimada de 21 anos, também localizadas no Distrito Federal, contração tangencial de 7,99%, contração radial de 4,72%, contração volumétrica de 12,52% e coeficiente de anisotropia de 1,77, apresentando comportamento similar ao parágrafo acima, quando estes valores são comparados com os resultados deste trabalho.

Banks (1977) avaliando a qualidade da madeira desta espécie plantada na África do Sul, obteve para árvores de 24 e 25 anos, contrações de 5,70%, 2,90% e 8,60% para planos tangencial, radial e volumétrico, sendo estes valores similares aos obtidos neste estudo.

Rezende, Saglietti e Guerrini (1995) também avaliando a madeira de *Pinus caribaea var. hondurensis*, obtiveram para indivíduos de 8 anos de idade, contração tangencial de 5,4%, contração radial de 4,3% e contração volumétrica de 10,20%, sendo estas contrações superiores ao deste trabalho, e, mesmo com menor idade, maiores e utilização de madeira exclusivamente juvenil, o resultados indicam que a madeira avaliada por estes autores é mais estável (β_t/β_r : aproximadamente 1,26).

Para o *Pinus chiapensis*, Malan (2001) estudando a qualidade da madeira desta espécie, com 14 anos de idade e provenientes da Região de Mpumalanga (África do Sul) apresenta valores médios de contração tangencial no intervalo de 5,80% a 7,30% e contração radial entre 1,50% a 2,10%. Conseqüentemente a partir dos resultados acima, supõem-se que a contração volumétrica apresentou variação no intervalo de 7,30% a 9,40%. Embora não se possa fazer uma comparação direta com os resultados deste trabalho, em virtude de que o referido autor apresenta valores médios por regiões de crescimento, e não é possível estabelecer uma proporção adequada, pode-se dizer que os valores obtidos a partir das duas pesquisas, apresentam resultados similares, mesmo crescendo em regiões distintas.

Comparando os resultados determinados para o *Pinus maximinoi* com a literatura, observa-se também para esta espécie, que os valores médios são similares aos apresentados por Klock (2000), que obteve contração tangencial de 6,06%, contração radial de 2,92%, contração volumétrica de 9,08% e anisotropia de contração de 2,21. Esperava-se que por serem utilizados os mesmos plantios, no entanto com diferentes idades (10 x 18 anos), os valores determinados por Klock (2000) apresentassem, um comportamento mais instável (anisotropia de contração maior), por se tratar exclusivamente de madeira juvenil e com menor massa específica. No entanto está relação não foi muito clara, onde o material aqui utilizado apresentou maior massa específica, conseqüentemente maior contração tangencial e volumétrica, porém as diferenças entre contração tangencial e radial foram maiores, gerando assim anisotropia superior. Este resultado pode também, estar associado a posição de retirada das amostras, onde Klock (2000) utilizou corpos de prova retirados entre o DAP e 25% da altura comercial, diferindo deste trabalho, onde foram obtidas amostras em todas as alturas do fuste comercial.

Em relação às propriedades de contração da espécie *Pinus oocarpa*, Klock (1989) descreve resultados médios para contração tangencial de 6,74% e 7,17%, contração radial de 3,41 % e 3,68%, contração volumétrica média de 10,14% a 10,76% e anisotropia de contração de 2,03 a 2,04, para árvores obtidas em plantios na região de Agudos – SP, com 14 e 18 anos, respectivamente. Os resultados médios determinados nesta pesquisa para as contrações nos diferentes planos, permitem afirmar que são similares aos resultados das contrações obtidas por Klock (1989) para ambas as idades, no entanto, a anisotropia de contração encontrada pelo referido autor é relativamente menor a deste trabalho, indicando que a madeira aqui utilizada possui comportamento mais instável.

Para a espécie *Pinus tecunumanii*, Vicente *et al.* (2005) apresentam resultados médios de 5,58% para contração tangencial, 3,09% para contração radial, 8,81% para contração volumétrica e 1,85 para anisotropia de contração para procedências com 19 e 20 anos na região de Planaltina – DF. Comparando com os resultados deste trabalho, os resultados são similares aos obtidos por estes autores, porém com valor médio de anisotropia de contração ligeiramente superior.

Moraes Neto *et al.* (2009b) encontrou valores médios de 7,10%, 3,80%, 11,40% e 2,07, para contração tangencial, radial, volumétrica e anisotropia de

contração, respectivamente, para árvores com 23 anos, também com crescimento na região de Planaltina, no entanto com procedências diferentes. Verifica-se também que os resultados apresentados por tais autores são bastante similares aos apresentados na Tabela 7.13. Para ambas as pesquisas com *Pinus tecunumanii* (VICENTE *et al.*, 2005 e MORAES NETO *et al.*, 2009b x os resultados deste estudo) as prováveis diferenças estão associadas à idade, massa específica, amostragem, condições de crescimento e conseqüentemente, diferentes procedências.

Para o *Pinus taeda*, espécie utilizada como testemunha em relação às espécies de *Pinus* tropicais, a literatura dispõe de grande número de pesquisa com diversos valores para as propriedades de retratibilidade.

Considerando os valores apresentados pelo USDA (1985), observa-se que os resultados médios obtidos nesta pesquisa são similares aos valores de 5,90% a 6,20% para contração tangencial e 3,50% a 4,40% para contração radial obtidos por este departamento.

Comparando com outros trabalhos, verifica-se que os resultados similares aos de Keinert Junior *et al.* (1992), que obteve contração tangencial de 6,95%, contração radial de 5,24% e contração volumétrica de 12,19% para plantio com aproximadamente 12 anos, aos de Chies (2005) que encontrou contração tangencial de 6,55% a 7,20%, contração radial de 3,21% a 4,02%, contração volumétrica entre 9,75% e 11,11% a partir de plantios com 21 anos e aos de Oliveira *et al.* (2006) que determinou contração volumétrica entre 10,37% e 11,83% para plantios com 9, 13 e 20 anos de idade.

Para a anisotropia de contração os resultados deste trabalho são ligeiramente superiores ao de Chies (2005) que apresenta valores entre 1,85 a 2,19, confirmando com isso as proposições de Choong, Fogg e Shoulders (1989) que afirma que as contrações volumétrica, tangencial e radial são baixas na madeira juvenil (menor idade) nas espécies do gênero *Pinus*, enquanto que a anisotropia de contração é mais elevada, ocorrendo diminuição desta com o aumento da idade e a elevação das contrações volumétrica, tangencial e radial.

Relacionando especificamente os resultados obtidos por Klock (2000), que avaliou *Pinus taeda* com 10 anos de idade proveniente do mesmo sítio de crescimento, verifica-se que este autor encontrou valores de 6,77%, 3,87%, 10,50%

e 1,83, para contração tangencial, radial, volumétrica e anisotropia de contração, respectivamente. Comparando estes resultados com os obtidos aqui para a idade de 18 anos, observa-se que não houve muita variação para as contrações, no entanto, foi observado um aumento na anisotropia de contração de 1,83 para 2,20. Embora a literatura afirme que as contrações sejam menores na madeira juvenil ou com menor idade e maiores na madeira adulta ou com maior idade, ocorrendo o inverso com a anisotropia de contração, este fato não foi evidenciado nesta comparação, sendo explicado pelo fato de que o material utilizado para a avaliação aos 10 anos foi obtido exclusivamente a partir de toras coletadas entre o DAP e 25% da altura comercial, e nesta pesquisa, a avaliação foi efetuada a partir de corpos de prova obtidos a partir de toras em toda a altura comercial.

Na Tabela 7.14 são apresentados os resultados médios dos coeficientes de retratibilidade obtidos a partir das espécies estudadas.

TABELA 7.14 – RESULTADOS MÉDIOS DOS COEFICIENTES DE RETRATIBILIDADE

Espécie	Q_{tang}^1 (%/%)	Q_{rad}^2 (%/%)	Q_{vol}^3 (%/%)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	0,239 b (24,67)	0,110 cd (41,65)	0,363 d (23,53)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	0,245 b (29,82)	0,114 cd (45,41)	0,376 cd (28,91)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	0,253 ab (30,45)	0,128 abc (37,54)	0,426 ab (28,02)
<i>Pinus chiapensis</i>	0,247 b (24,97)	0,080 e (36,21)	0,378 bcd (20,06)
<i>Pinus maximinoi</i>	0,251 ab (33,34)	0,127 bcd (35,15)	0,415 abc (29,52)
<i>Pinus oocarpa</i>	0,226 b (43,03)	0,107 d (41,02)	0,373 cd (30,17)
<i>Pinus tecunumanii</i>	0,276 a (21,60)	0,139 ab (32,43)	0,411 a (23,80)
<i>Pinus taeda</i>	0,253 ab (17,47)	0,150 a (35,72)	0,447 a (21,46)
<i>p</i>	0,001*	0,000*	0,000*

Q_{tang} : Coeficiente de retratibilidade tangencial; Q_{rad} : Coeficiente de retratibilidade radial; Q_{vol} : Coeficiente de retratibilidade volumétrica. Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna são estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey a 95%. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação entre amostras.

Os resultados apresentados na Tabela 7.14 indicam que a espécie testemunha apresentou os maiores valores médios para dois dos três coeficientes avaliados. Para o coeficiente de retratibilidade tangencial, o *Pinus tecunumanii* demonstrou o maior valor, sendo estatisticamente igual ao *Pinus taeda*, ao *Pinus maximinoi* e ao *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. Entre as espécies de *Pinus* tropicais é observada a formação de dois grupos homogêneos.

Para o coeficiente de retratibilidade radial, observa-se que a testemunha apresenta o maior valor médio e é estatisticamente igual ao *Pinus tecunumanii*. O menor valor médio para este coeficiente é demonstrado pelo *Pinus chiapensis*, o qual apresenta diferença estatística significativa em relação a todas as demais espécies.

Em relação ao coeficiente de retratibilidade volumétrico, o *Pinus taeda* novamente apresentou o maior resultado médio, sendo este estatisticamente igual às espécies *Pinus tecunumanii*, *Pinus maximinoi*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Em virtude dos resultados apresentados, pode-se dizer que nenhuma das espécies de *Pinus* tropicais apresenta contração ou inchamento com a variação percentual do teor de umidade estatisticamente superior a testemunha, ou seja, praticamente todas irão apresentar menor inchamento ou contração com a variação de umidade, quando comparadas com o *Pinus taeda*.

Comparando os resultados indicados na Tabela 7.14, com os valores mencionados na literatura, verifica-se que tais valores são similares aos apresentados por Moreschi (2010) que descreve valores de 0,26 %/% e 0,15 %/% para coeficientes de retratibilidade tangencial e radial respectivamente.

Em relação aos valores determinados por Klock (2000) nota-se que o autor obteve valores médios de 0,240, 0,131 e 0,387 %/% para coeficientes de retratibilidade tangencial, radial e volumétrico a partir da espécie *Pinus maximinoi*. Para o *Pinus taeda*, este mesmo autor encontrou valores de 0,236, 0,152 e 0,403 %/% também os para coeficientes de retratibilidade tangencial, radial e volumétrico. Em comparação com os resultados obtidos neste trabalho verifica-se que os resultados são similares, indicando que a idade não exerceu influência acentuada sobre os coeficientes de retratibilidade.

Estes resultados são ainda similares aos apresentados por Chies (2005) que obteve valores médios no intervalo de variação de 0,246 a 0,277 %/% para o coeficiente tangencial, 0,132 a 0,158 %/% para o coeficiente radial e 0,398 a 0,447 %/% para o coeficiente de retratibilidade volumétrico para *Pinus taeda*.

7.4.6 Correlações entre propriedades

7.4.6.1 Correlações entre massa específica, madeira juvenil e lenho tardio

Na Tabela 7.15 são apresentadas as relações existentes entre a propriedade de massa específica e as proporções de madeira juvenil e lenho tardio.

TABELA 7.15 – CORRELAÇÕES ENTRE MASSA ESPECÍFICA, PROPORÇÃO DE MADEIRA JUVENIL E LENHO TARDIO

Espécie	Variável	Madeira Juvenil	Lenho Tardio
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	ME	- 0,26	0,59*
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	ME	- 0,42*	0,49
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	ME	- 0,61*	0,60*
<i>Pinus chiapensis</i>	ME	- 0,18	0,13
<i>Pinus maximinoi</i>	ME	- 0,22	0,52*
<i>Pinus oocarpa</i>	ME	- 0,43*	0,61*
<i>Pinus tecunumanii</i>	ME	- 0,38	0,56*
<i>Pinus taeda</i>	ME	- 0,33	0,63*

* Correlações significativas a 5% de probabilidade. Sinal negativo (-) indica que a massa específica é inversamente relacionada com a proporção de madeira juvenil.

De acordo com os valores apresentados na tabela anterior, verifica-se que a massa específica apresenta relação inversa à proporção de madeira juvenil. Este

resultado se deve ao fato de que a madeira juvenil apresenta fibras ou traqueóides mais curtos, parede celular mais fina e menor percentual de lenho tardio o que contribui para menores valores de massa específica. Assim, quando o percentual de madeira juvenil numa dada seção é reduzido a massa específica aumenta.

Correlações significativas são evidenciadas para as espécies *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, sendo esta última a de mais forte correlação.

Em relação às correlações obtidas entre massa específica e lenho tardio, são observados valores positivos, já que o lenho tardio possui paredes celulares mais espessas, assim o aumento no seu percentual, gera um aumento na massa específica.

Embora sejam esperadas elevadas correlações entre massa específica e percentual de lenho tardio em coníferas, principalmente nas do gênero *Pinus*, Kellinson (1981) menciona que em árvores de rápido crescimento, com elevada proporção de madeira juvenil, a correlação entre estas duas propriedades tende a ser menor, devido a maior variabilidade na massa específica, das características morfológicas dos traqueóides e dos altos teores de polioses. Desta forma, embora sejam verificadas correlações significativas para a maioria das espécies aqui estudadas, os valores de massa específica e lenho tardio não demonstram estar fortemente correlacionados.

Observando ainda os resultados apresentados na Tabela 7.5, pode-se verificar que os percentuais de lenho inicial e lenho tardio são mais importantes e exercem maior influência que percentual de lenho juvenil sobre determinação da massa específica média da madeira.

7.4.6.2 Correlações entre massa específica e retratibilidade

A Tabela 7.16 apresenta os valores obtidos para as relações existentes entre massa específica, contração volumétrica e anisotropia de contração.

TABELA 7.16 - CORRELAÇÕES ENTRE MASSA ESPECÍFICA BÁSICA, CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA E ANISOTROPIA DE CONTRAÇÃO

Espécie	Variável	β_{vol}	A_c	Variável	A_c
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	ME _{básica}	0,64*	- 0,58	β_{vol}	- 0,52
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	ME _{básica}	0,25	- 0,50	β_{vol}	- 0,88*
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	ME _{básica}	0,37	- 0,08	β_{vol}	- 0,38
<i>Pinus chiapensis</i>	ME _{básica}	- 0,47	- 0,11	β_{vol}	- 0,56
<i>Pinus maximinoi</i>	ME _{básica}	0,69	0,20	β_{vol}	- 0,69
<i>Pinus oocarpa</i>	ME _{básica}	0,49	- 0,27	β_{vol}	- 0,68
<i>Pinus tecunumanii</i>	ME _{básica}	0,67*	- 0,53	β_{vol}	- 0,38
<i>Pinus taeda</i>	ME _{básica}	0,87*	- 0,57	β_{vol}	- 0,37

β_{vol} : Contração volumétrica; A_c : Anisotropia de contração; * são significativos a 95% de probabilidade; sinal negativo (-) indica que a propriedade está inversamente correlacionada a massa específica.

Os coeficientes de correlações demonstram relações positivas entre massa específica e contração volumétrica para a maioria das espécies, no entanto, estas duas propriedades não se apresentam fortemente correlacionadas em grande parte dos casos. Estas baixas correlações, podem ser explicadas segundo a justificativa de Choong, Fogg e Shoulders (1989) os quais avaliando *Pinus palustris* e *Pinus elliottii*, também não obtiveram boas correlações entre estas propriedades e atribuíram este resultado a formação de cerne e elevado teor de extrativos nesta região, o que não elevam apenas a elevação da massa específica, mas também inibem a contração por ocuparem a região amorfa na celulose da parede celular. Desta forma, considerando a explicação dos autores acima mencionados, vale lembrar que as três variedades do *Pinus caribaea* são produtoras de resina segundo a literatura (CAPITANI *et al.*, 1980; CHUDNOFF, 1984; GIBSON, 1987; FRANCIS, 1992; GURGEL GARRIDO; ROMANELLI; GARRIDO, 1996, FREITAS *et al.*, 2005; MISSIO; MORAES; DIAS, 2007, FOELKEL, 2008) assim como o *Pinus oocarpa* (LAMPRECHT, 1990), concluindo com isso, que as baixas correlações apresentadas na Tabela 7.16, podem estar associadas a este fator. Para o *Pinus*

maximinoi embora a literatura não mencione a presença de resina na espécie, foram verificadas regiões com formação de cerne conforme Figura 2.6 (f) apresentada no Capítulo 2, assim como para o *Pinus chiapensis*, onde Dvorak e Donahue (1988) afirmam que a madeira produzida por esta última espécie apresenta zona de cerne bem definida, a qual pode ser confirmada na Figura 2.5 (e) do Capítulo 2. A formação do cerne consiste na deposição de diversas substâncias, as quais elevam o teor de extrativos. Para o *Pinus tecunumanii* e principalmente para o *Pinus taeda*, que não apresenta a presença de resina nem elevados teores de extrativos as propriedades apresentam-se melhor correlacionadas.

Os coeficientes de correlação obtidos a partir das variáveis massa específica e anisotropia de contração, não apresentaram correlações significativas para todas as espécies, estando este resultado, possivelmente associado aos fatores produção de resina e presença de extrativos como relatado no parágrafo anterior.

Já a relação negativa, tanto para as correlações entre massa específica e anisotropia de contração quanto para contração volumétrica e anisotropia, se deve ao fato de que quanto menor a massa específica menor é a contração volumétrica e maior é anisotropia de contração, ou seja, quando a contração volumétrica sofre alteração positiva, ocorre a tendência de redução do coeficiente de anisotropia.

7.4.6.3 Correlações entre massa específica e velocidade de propagação das ondas de tensão nas árvores em pé e nas toras

Na Tabela 7.17 são apresentadas as correlações obtidas a partir da massa específica básica determinada neste capítulo e da velocidade de propagação das ondas de tensão nas árvores em pé e nas toras, apresentadas no Capítulo 3.

É possível verificar, de acordo com a tabela mencionada, que a massa específica e a velocidade de propagação das ondas não apresentaram correlações estatísticas significativas para a maioria das espécies estudadas.

TABELA 7.17 - CORRELAÇÕES ENTRE MASSA ESPECÍFICA E VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NAS ÁRVORES EM PÉ E NAS TORAS

Espécie	Variável	V _{TR}	V _{DG}	V _{toras}
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	ME _{básica}	- 0,04	0,94*	0,53
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	ME _{básica}	- 0,07	0,55	0,35
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	ME _{básica}	- 0,11	- 0,07	0,98*
<i>Pinus chiapensis</i>	ME _{básica}	- 0,37	- 0,59	-0,74
<i>Pinus maximinoi</i>	ME _{básica}	- 0,30	0,05	0,63
<i>Pinus oocarpa</i>	ME _{básica}	- 0,81	- 0,83	0,13
<i>Pinus tecunumanii</i>	ME _{básica}	0,90*	0,27	0,91*
<i>Pinus taeda</i>	ME _{básica}	- 0,03	- 0,13	0,21

V_{TR}: Velocidade transversal; V_{DG}: Velocidade diagonal; V_{toras}: Velocidade média obtida a partir das toras; * valores significativos a 95%; valores não identificados não apresentam correlação significativa; sinal negativo (-) indica que a propriedade está inversamente correlacionada a massa específica.

Para a velocidade de propagação das ondas de tensão no sentido transversal (DAP), a única espécie que apresentou correlação significativa foi o *Pinus tecunumanii*, estando estas duas propriedades fortemente correlacionadas. Para a velocidade de propagação no sentido diagonal, elevada correlação foi constatada a partir da espécie *Pinus caribaea* var. *bahamensis*. Já para a velocidade média de propagação a partir das toras, bons resultados foram encontrados para o *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e para o *Pinus tecunumanii*.

As baixas correlações entre massa específica e velocidade de propagação podem ser justificadas pelas inúmeras variáveis que afetam a aplicação das ondas nas árvores em pé, assim como nas toras, não permitindo explicar combinações de causa e efeito.

Baixas correlações foram também obtidas por Castelo (2007), que avaliando a qualidade da madeira de *Pinus taeda* a partir de diferentes sítios, obteve correlações de -0,53, 0,07 e 0,38. Por outro lado, esta mesma autora avaliando *Pinus taeda* em diferentes espaçamentos, obteve correlações variadas, de -0,82, 0,49, 0,52, 0,60,

0,62, 0,79, 0,83, 0,95 e 0,99. Já Shimoyama (2005) também avaliando *Pinus taeda*, obteve correlação de 0,70.

7.4.6.4 Correlações entre retratibilidade e velocidade de propagação das ondas de tensão

A Tabela 7.18 apresenta as relações existentes entre contração volumétrica, anisotropia de contração e velocidade de propagação das ondas de tensão nas toras descritas no Capítulo 3.

Exceto a correlação entre velocidade de propagação e anisotropia de contração para a espécie *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, todas as demais correlações não apresentaram significância estatística, indicando desta forma, que a técnica de propagação de ondas de tensão não é uma técnica eficiente para avaliar as propriedade de retratibilidade tanto em *Pinus taeda* quanto em espécies de *Pinus* tropicais.

TABELA 7.18 - CORRELAÇÕES ENTRE CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA, ANISOTROPIA DE CONTRAÇÃO E VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NAS TORAS

Espécie	Variável	β_{vol}	A_c
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	V_{toras}	0,22	-0,83*
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	V_{toras}	0,56	-0,41
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	V_{toras}	0,48	0,04
<i>Pinus chiapensis</i>	V_{toras}	0,54	-0,66
<i>Pinus maximinoi</i>	V_{toras}	0,17	0,18
<i>Pinus oocarpa</i>	V_{toras}	-0,14	-0,02
<i>Pinus tecunumanii</i>	V_{toras}	-0,33	-0,10
<i>Pinus taeda</i>	V_{toras}	-0,33	-0,17

β_{vol} : Contração volumétrica; A_c : Anisotropia de contração; V_{toras} : Velocidade média obtida a partir das toras; * valores significativos a 95%; valores não identificados não apresentam correlação significativa; sinal negativo (-) indica que a propriedade está inversamente correlacionada a massa específica.

7.4.6.5 Correlações entre massa específica, proporção de madeira juvenil, percentual de lenho tardio e características de crescimento

Na Tabela 7.19 são apresentadas as relações existentes entre massa específica básica, proporção de madeira juvenil e percentual de lenho tardio, obtidos neste capítulo, e as características de crescimento, apresentadas no Capítulo 4.

TABELA 7.19 - CORRELAÇÕES ENTRE MASSA ESPECÍFICA BÁSICA, PROPORÇÃO DE MADEIRA JUVENIL, PERCENTUAL DE LENHO TÁRDIO E CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO

Espécie	Variável	DAP	Altura	Volume
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	ME	-0,02	0,24	-0,18
	MJ	-0,15	0,08	-0,66
	LT	0,28	-0,02	-0,50
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	ME	-0,58	0,08	-0,42
	MJ	-0,45	-0,36	-0,25
	LT	-0,66	-0,25	-0,55
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	ME	0,09	0,41	0,13
	MJ	-0,72	-0,27	-0,73
	LT	0,18	0,45	0,11
<i>Pinus chiapensis</i>	ME	-0,56	-0,38	-0,53
	MJ	-0,02	-0,46	-0,01
	LT	-0,11	0,08	-0,21
<i>Pinus maximinoi</i>	ME	-0,29	0,28	-0,39
	MJ	-0,13	-0,65	-0,38
	LT	-0,32	0,37	-0,26
<i>Pinus oocarpa</i>	ME	0,27	-0,30	0,21
	MJ	-0,04	-0,11	-0,21
	LT	0,53	0,27	0,44
<i>Pinus tecunumanii</i>	ME	-0,93*	-0,41	-0,91*
	MJ	-0,59	0,14	-0,62
	LT	-0,89*	-0,42	-0,90*
<i>Pinus taeda</i>	ME	-0,73	-0,63	-0,75
	MJ	0,33	-0,02	0,24
	LT	-0,57	-0,75	-0,53

*Valores significativos a 95%; valores não identificados não apresentam correlação significativa; sinal negativo (-) indica que as variáveis são inversamente correlacionadas.

De acordo com a Tabela 7.19 é possível verificar que não foram constatadas correlações estatísticas significativas entre as variáveis, na maioria das espécies de *Pinus*. As únicas correlações significativas e fortes foram obtidas a partir do *Pinus tecunumanii*, o que indica que as características de crescimento DAP e volume exercem grande influência sobre o percentual de lenho tardio assim como sobre a propriedade de massa específica desta espécie.

De uma forma geral, esperava-se que as árvores com maior crescimento em diâmetro, altura e volume tendessem a apresentar uma menor massa específica, pela divisão celular mais rápida e maior incremento, apresentando assim maior volume com menor quantidade de matéria lenhosa, no entanto, isso não foi evidenciado na maioria das espécies.

Resultados similares foram também encontrados por Schönau (1974), que avaliando *Eucalyptus*, verificou que a massa específica reduziu com o aumento do DAP, no entanto, não foram encontrados coeficientes elevados a partir dos modelos de regressão (0,29), onde este baixo resultado, segundo o autor, pode estar relacionada a alta variabilidade das amostras. Baixas correlações foram também encontradas por Moura, Parca e Silva (1991), que analisando a variação da massa específica em espécies e procedências de *Pinus* em diferentes regiões do cerrado, não obtiveram correlações estatisticamente significativas entre massa específica e DAP. Já as correlações entre massa específica e altura demonstraram significância estatística, no entanto os valores variaram de 0,11 a 0,19.

7.5 CONCLUSÕES

De acordo com os objetivos propostos e com os resultados obtidos ao longo do capítulo são estabelecidas as seguintes conclusões:

- Todas as espécies apresentam massa específica leve, onde o menor e o maior valor médio foram obtidos a partir das espécies *Pinus chiapensis* e *Pinus tecunumanii*, respectivamente.
- A análise da variação longitudinal da massa específica básica demonstrou que as espécies *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, *Pinus chiapensis*, *Pinus tecunumanii* e *Pinus taeda*, mesmo com a redução gradativa da propriedade no sentido base-topo, não apresentaram diferença estatística significativa entre as médias das diferentes posições. As espécies *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa* demonstraram diferença estatística significativa apenas entre os valores médios extremos da árvore e as *Pinus caribaea* var. *caribaea* e *Pinus maximinoi*, resultaram em grande variabilidade de massa específica ao longo do fuste.
- A maior proporção média de madeira juvenil foi apresentada pelo *Pinus taeda* e a menor proporção média foi apresentada pelo *Pinus tecunumanii*.
- Na avaliação da variabilidade da madeira juvenil ao longo do fuste, foi constatado que a espécie *Pinus taeda* apresenta a maior proporção em todas as alturas e o *Pinus tecunumanii* a menor proporção. Além disso, o *Pinus tecunumanii* foi a espécie que apresentou a maior homogeneidade de madeira juvenil no sentido longitudinal e exceto esta espécie, todas as demais apresentam exclusivamente madeira juvenil a partir de 75% da altura comercial.
- A espécie que apresentou o maior percentual de lenho tardio foi o *Pinus taeda* (testemunha), sendo este estatisticamente diferente das demais espécies de *Pinus* tropicais, e o menor valor médio foi apresentado pelo *Pinus chiapensis*. Não foi constatada diferença estatística significativa para o percentual de lenho tardio entre as espécies de *Pinus* tropicais.

- Em relação à variação do percentual de lenho tardio, foi observado o decréscimo da variável ao longo do fuste, onde as espécies que apresentaram maior homogeneidade nesta foram o *Pinus caribaea* var. *bahamensis* e *Pinus caribaea* var. *caribaea*.
- A análise da largura dos anéis de crescimento indica, muito provavelmente, que exceto para o *Pinus chiapensis*, a madeira juvenil das espécies está concentrada até o 10° anel de crescimento.
- Para as propriedades de retratibilidade, as espécies que apresentaram a maior e menor contração volumétrica foram o *Pinus tecunumanii*, e o *Pinus chiapensis*, respectivamente. Para esta propriedade, nenhuma das espécies de *Pinus* tropicais demonstrou ser estatisticamente inferior a testemunha.
- O percentual de madeira juvenil parece ser o fator mais importante para explicar a retratibilidade das espécies.
- Em relação à anisotropia de contração, o maior resultado médio foi apresentado pelo *Pinus chiapensis*, sendo este considerado o mais instável e também estatisticamente diferente de todas as demais espécies de *Pinus* tropicais e da testemunha. Já o menor valor médio foi obtido a partir do *Pinus taeda*, o qual também difere de todas as demais espécies de *Pinus* tropicais.
- As correlações entre as propriedades físicas (massa específica x madeira juvenil x lenho tardio) indicaram que a massa específica apresenta correlação inversa com a proporção de madeira juvenil e correlação positiva com o lenho tardio, no entanto, devido as características e grande variabilidade de propriedades da madeira juvenil, as propriedades não se apresentaram fortemente correlacionadas.
- As correlações entre massa específica e retratibilidade também não apresentaram fortes correlações, provavelmente devido à presença de resina e extrativos nas espécies estudadas, os quais alteraram a massa específica e inibem a contração.
- As correlações entre massa específica e velocidade de propagação das ondas de tensão nas árvores em pé indicaram fortes correlações apenas para as espécies *Pinus caribaea* var. *bahamensis* e *Pinus tecunumanii*. Já a

aplicação das ondas de tensão nas toras correlacionou-se fortemente apenas no *Pinus tecunumanii*.

- A correlação entre retratibilidade e velocidade de propagação das ondas de tensão nas toras não se apresentou como uma ferramenta eficiente para avaliação destas propriedades da madeira.
- As características de crescimento (DAP, altura e volume) não exerceram influência acentuada sobre a massa específica básica, madeira juvenil e lenho tardio, na maioria das espécies.

7.6 REFERÊNCIAS

ALBINO, J.C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação da densidade básica da madeira e produtividade da *Eucalyptus spp.* **Boletim de Pesquisa**, n. 26, 1985. 43 p.

AMARAL, A.C.; FERREIRA, M.; COUTO, H.T.Z. Métodos de avaliação da densidade básica da madeira de populações de pinheiros tropicais. **IPEF**, n.15, p.47-67, 1977.

ANDRADE, A.S. **Qualidade da madeira, celulose e papel em *Pinus taeda* L.: influência da idade e da classe de produtividade**. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

ARONI, A.S.; REZENDE, M.A. Avaliação dos índices de produtividade do híbrido do *Pinus caribaea* var. *hondurensis* x *Pinus tecunumanii*, no Estado de São Paulo. **Energia Agrícola**, v. 22, n.1, p. 17- 32, 2007.

BALLARIN, A.W.; NOGUEIRA, M. Determinação do módulo de elasticidade da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* por ultra-som. **Engenharia Agrícola**, v.25, n.1, p.19-28, 2005.

BANKS, C.H. Some observations on the quality of the timber of South African grown *Pinus caribaea* var. *caribaea* and var. *hondurensis*. **South African Forestry Journal**, n. 102, p. 1-7, 1977.

BARNES, R.D.; WOODEND, J.J.; SCHWEPPENHAUSER, M.A.; MULLIN, L.J. Variation in diameter growth and Wood density in six-years-old provenance trials of *Pinus caribaea* Morelet on five sites in Rodhesia. **Silvae Genetica**, v. 28, n.5-6, p. 163-167, 1977.

BENDSTEN, B. A. Properties of wood from improved and intensively managed trees. **Forest Products Journal**, v. 28, p. 61-72, 1978.

BENDTSEN, B.; SENFT, J. Mechanical and anatomical properties in individual growth rings of plantation-grown eastern cottonwood and Loblolly Pine. **Wood and Fiber Science**, v.18, n.1, p.21-38, 1986.

BOWYER, J. L.; SHMULSKY, R.; HAYGREEN, J. G. **Forest products and wood science: an introduction**. 4th ed. Ames: Iowa State Press, 2003. 554 p.

BRASIL, M.A.M.; NICOLIELO, N.; VEIGA, R.A.A. Variação da densidade básica da madeira de *Pinus oocarpa* Schiede em diversas idades na região de Agudos, SP. **Floresta**, v.11, n.1, p. 33 - 40, 1980.

BRITO, J.O.; NUCCI, O. Estudo tecnológico da madeira de *Pinus spp* para a produção de carvão vegetal e briquetagem. **IPEF**, n. 26, p. 25-30, 1984.

BRITO, J.O. **Influência da adubação mineral nas características dos anéis de crescimento da madeira de *Pinus caribaea* var. *bahamensis***. 113 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Universidade de São Paulo, Picacicaba, 1985.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Correlações entre o teor de lenho tardio e densidade básica para espécies do gênero *Pinus*. Circular técnica. **IPEF**, v. 30, p. 1-6, 1978.

BROWN, H.P.; PASHIN, A.J.; FORSAITH, C.C. **Textbook of wood technology** - II. New York: Mc Graw - Hill, 1952. 783p.

BROWN, M. J.; McWILLIAMS, W. H. Pine stands across the South - trends and projections. In: SOUTHERN PLANTATION WOOD QUALITY WORKSHOP, 1989, Athens. **Proceedings...** Asheville: Southeastern Forest Experiment Station, United States Department of Agriculture, p. 1-15, 1990.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da Madeira**. São Paulo. Livraria Nobel S.A, 154 p. 1991.

CAPITANI, L.R.; SPELTZ, G.E.; BRITO, J.O.; BARRICHEL, L.E.G.A. Potencialidade de resinagem de quatro espécies de *Pinus* tropicais, na região de Sacramento – MG, **Circular Técnica**, IPEF, n. 10, 1980, 10p.

CASTELO, P.A.R. **Avaliação da qualidade da madeira de *Pinus taeda* em diferentes sítios de crescimento e espaçamentos, através do método não destrutivo de emissão de ondas de tensão**. 137 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

CASTRO, V.R. **Aplicação de métodos não destrutivos na avaliação das propriedades físicas do lenho de árvores de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* Barr. Et Golf. e *Tectona grandis* (L.f.)**. 104 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

CHIES, D. **Influência do espaçamentos sobre a qualidade e o rendimento da madeira serrada de *Pinus taeda* L.** 123 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

CHOONG, D.J.; FOGG, P.J.; SHOULDERS, E. Cultural treatment and Wood-type effects on Wood properties. **Wood and Fiber Science**, v. 21, n. 2, p. 193-206, 1989.

CHUDNOFF, M. Tropical Timbers of the World. **Agriculture Handbook**, Washington: USDA. 1984. 466 p.

Comissão Panamericana de Normas Técnicas. **COPANT 459**. *Acondicionamiento de las maderas destinadas a los ensayos físicos y mecánicos*. 1972.

Comissão Panamericana de Normas Técnicas. **COPANT 461**. *Determinación Del peso específico aparente*. 1972.

Comissão Panamericana de Normas Técnicas. **COPANT 462**. *Método de determinación de la contracción*. 1972.

CORREA, R.S. **Efeito dos atributos do solo na produtividade e qualidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis***. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

COWN, D. J.; McCONCHIE, D. L. Wood properties variation in old-crop stand of *Radiata pine*. **New Zealand Journal of Forestry Science**, v. 10, n. 3, p. 508-520, 1980.

COWN, D.J. *Radiata pine*: wood age and wood property concepts. **New Zealand Journal of Forestry Science**, v.10, n.3, p. 504-507, 1980.

COWN, D. J. Corewood (Juvenile wood) in *Pinus radiata* – should we be concerned?. **New Zealand Journal of Forestry Science**, v. 22, n. 1, p. 87-95, 1992.

DADSWELL, H.E. Wood structure variations occurring during tree growth and their influence on properties. **Wood Science**, v.1, p.11-32, 1958.

DIAS, F. M.; LAHR, F. A. R. Estimativa de propriedades de resistência e rigidez da madeira através da densidade aparente. **Scientia forestalis**, n. 65 p. 102-113, 2004.

DUFFIELD, JW. Genetic improvement of wood quality. **Forest Products Journal**. v. 11, n.5, p. 211-213, 1961.

DURLO, M.A.; MARCHIORI, J.N.C. **Tecnologia da madeira: retratibilidade**. Santa Maria, Serie técnica, 10, 1992, 33p.

DVORAK, W. S.; DONAHUE, J. K. *Pinus maximinoi* seed collections in México and Central América – **CAMCORE Technical Bulletin**, n.4, 1988, 47 p.

ESPINOZA, J.A.Efecto del manejo silvicultural intensivo de las plantaciones forestales en las propiedades de la madera. **Boletín de Noticias Camcore para México y Centroamérica**, v. 4, n.1, p.1e 5, 2010.

EVANS II, J. W.; SENFT, J. F.; GREEN, D. W. Juvenile wood effect in red alder: analysis of physical and mechanical data to delineate juvenile and mature wood zones. **Forest Productions Journal**, v. 50, n. 7-8, p. 75-87, 2000.

FLORSHEIM, S.M.B. **Curvas de isopropriedades da madeira de árvores de *Pinus caribaea* var. *bahamensis***. 225 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

FOELKEL, C.E.B.; BRASIL, M.A.M.; BARRICHELO, L.E.G. Métodos para a determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. **IPEF**, n. 2-3, p. 65-74, 1971.

FOELKEL, C. E.B.; BARRICHELO, L.E.G.; AMARAL, A.C.B.; VALLE, C.F. Variações das características da madeira e propriedades da celulose sulfato de *Pinus oocarpa* em função da idade do povoamento florestal. **IPEF**, n. 10, p. 81-87, 1975.

FOELKEL, C.E.; MORA, E.; MENOCELLI, S. Densidade básica: sua verdadeira utilidade como índice de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6. Campos do Jordão, 1990. **Anais...** Campos do Jordão: 1990. p.719- 728.

FOELKEL, C. **Individualização das fibras da madeira do eucalipto para a produção de celulose kraft**. Associação Brasileira Técnica de celulose e papel. 2009. Disponível em : <<http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos>>. Acesso em 19/02/2012.

FRANCIS, J.K. *Pinus caribaea* Morelet. **Caribbean pine**. New Orleans: Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 1992. 10p.

FREITAS, M.L.M.; SEBBENN, A.M.; MARAIS, E.; ZANATTO, A.C.S.; SOUSA, C.M.R.; LEMOS, S.V.; Parâmetros genéticos em progênies de polinização aberta de *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, aos 22 anos de idade. **Revista do Instituto Florestal**, v. 17, n. 1, p. 103-111, 2005.

GARCÍA, C. B. **Anatomia, composição e propriedade de cinco madeiras paraguaias**. 126f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

GIBSON, G. L. A review of provenance testing of commercially important tropical pines. In: SIMPÓSIO SOBRE SILVICULTURA Y MEJORAMIENTO GENÉTICO DE ESPÉCIES FORESTALES, 1, 1987, Buenos Aires. **Anais...** Buenos Aires: CIEF, 1987. p. 29-61.

GONÇALVES, F. G.; OLIVEIRA, J. T.S.; LUCIA, R.M.D.; SARTORIO, R.C. Estudo de algumas propriedades mecânicas da madeira de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis*. **Árvore**, v.33, n.3, p. 501-509, 2009 .

GURFINKEL, G. **Wood Engineering**. New Orleans: Southern Forest Products Association, 573p. 1973.

GURGEL GARRIDO, L. M. A.; ROMANELLI, R. C.; GARRIDO, M. A. O. Variabilidade genética de produção de resina, DAP e altura em *Pinus caribaea* Mor. var. *bahamensis*. Barr. et Golf. **Revista do Instituto Florestal**, v. 8, n. 1, p. 89-98, 1996.

HANS, A.S. Artificial *Eucalyptus grandis* X *tereticornis* hybrids: survival, growth and wood density studies. **East African Agricultural and Forestry Journal**, n.39, p.321-324, 1974.

HILLIS W. H.; BROWN, A. G. **Eucalypts for wood production**. Melbourne: CSIRO, 1984. 434 p.

JANKOWSKY, I. P. Madeira juvenil, formação e aproveitamento industrial. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n. 81, p. 1-18, 1979.

JERROLD, E.W. Wood properties. USDA. Forest Products Laboratory. In: ARTNTZEN, C.J. **Encyclopedia of Agricultural Science**. Orlando, Academic Press.1994. p. 549-561.

KEINERT JUNIOR, S.; ROZAS, E.C.E.; ESTURION, J.A.; MATSUNAGA, D.K.; MICHAQUE, M.A.M.; RINCOSKI, C.R. Relação entre a contração e o teor de umidade da madeira de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, em vários ângulos de grã. **Ciência Florestal**, v.2, n.1, p. 81-86, 1992.

KELLINSON, R.C. Characteristics affecting quality of timber from plantations, their determination and scope for modification. In.: IUFRO XVII WORLD CONGRESS. 1981. **Proceedings....** Kioto: Division 5 Forest Products. p. 77-87.

KLITZKE, R.J. Secagem da madeira. In: OLIVEIRA, J.T.S.; FIEDLER, N.C.; NOGUEIRA, M. **Tecnologias aplicadas ao setor florestal brasileiro**. Jerônimo Monteiro: 2007. P. 271-341.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira de *Pinus oocarpa* Schiede e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr e Golf**. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989

KLOCK, U. **Qualidade da madeira de *Pinus maximinoi* H. E. Moore**. 291 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

KOCH, P. Utilization of the Southern pines. Madison: USDA, Forest Service Agricultural. **Handbook**, 1972, 420 p.

KOLLMANN, F. F. P. **Tecnologia de la Madera y sus aplicaciones**. Madrid. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y Servicio de la Madera. 1959. 647 p.

KOLLMANN, F.F.P.; COTÊ, W.A. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer Verlag, v. 1, 1968. 592 p.

KRAHMER, R. Fundamental anatomy of juvenile and mature wood. In: A TECHNICAL WORKSHOP: JUVENILE WOOD-WHAT DOES IT MEAN TO FOREST MANAGEMENT AND FOREST PRODUCTS, 1985, Washington. **Proceedings...** Madison: Forest Products Research Society, 1986. p. 12-16.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos**: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas – possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado. Rossdorf: TZ – Verl.- Ges. 343 p. 1990.

LARA PALMA, H.A.; BALLARIN, A.W. Relações entre propriedades de compressão paralela às fibras e características de crescimento da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. In: X ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2006, São Pedro, **Caderno de Resumos...** São Pedro, Instituto Brasileiro da Madeira e das estruturas de Madeira, 2006, p.74.

LARSON, P.R.; NICHOLS, J.W.P.; DADSWELL, H.E. Formation and properties of juvenile wood in southern pines: a synopsis. Madison, USDA, 2001, 42 p.

LOO, J.A.; TAUER, C.G.; MCNEW, R.W. Genetic variation in the time transition from juvenile to mature wood in loblolly pine (*Pinus taeda* L.) **Silvae Genetica**, v. 34, n.1, p. 14-19, 1985.

LOPES, G. A.; GARCIA, J. N. Densidade básica e umidade natural da madeira de *Eucalyptus saligna* Smith, de Itatinga, associadas aos padrões de casca apresentados pela população. **Scientia Forestalis**, n. 62, p. 13-23, 2002.

LUCAS FILHO, FC. **Estudo da influência do teor de umidade e da massa específica aparente sobre a resistência das madeiras de *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm e *Pinus taeda* L.**101 f. Dissertação. (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciência Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

MALAN, F.S. The wood quality of *Pinus chiapensis* (Mart.) Andresen grown in the Mpumalanga forest region. **Southern African Forestry Journal**, n. 192, p. 51–58, 2001.

MALAN, F.S. The wood properties and sawn-board quality of. South African- grown *Pinus maximinoi* (HE Moore). **Southern African Forestry Journal**, n. 208, p. 39-47, 2006.

MARTINS, O. **Estudo de ligações por conectores de chapas com dentes estampados em peças estruturais de madeira.** 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, 2007.

MATOS, J.L.M. **Estudo sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *P. taeda*.**117f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

MATTOS, B.D.; GATTO, D.A.; STANGERLIM, D.M.; CALEGARI, L.; MELO, R.R.; SANTINI, E.J. Variação axial da densidade básica da madeira de três gimnospermas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, n.1, p.121-126, 2011.

MELO, J. E.; CORADIN, V. T. R.; MENDES, J. C. Classes de densidade para madeiras da Amazônia Brasileira. In: 6° CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, FLORESTAS E MEIO AMBIENTE: CONSERVAÇÃO E PRODUÇÃO, PATRIMÔNIO SOCIAL. **Anais...** Campos do Jordão –SP, 1990, p. 695-699.

MENDES, L.M. ***Pinus spp.* na produção de painéis de partículas orientadas (OSB).** 163 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

MENDES, L.M.; SILVA, J.R.M.; TRUGILHO, P.F.; LIMA, J.T. Densidade da madeira de *Pinus oocarpa* Schiede no sentido longitudinal dos caules. **Cerne**, v. 5, n. 1, 2001.

MISSIO, R.F. **Variação genética em progênies de *Pinus caribaea* Morelet var. *bahamensis***. 129 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, 2004.

MISSIO, R.F.; MORAES, M.L.T; DIAS, L.A.S. Efeito do desbaste seletivo sobre a divergência genética em progênies de *Pinus caribaea* Morelet var. *bahamensis*. **Scientia Forestalis**, n. 73, p. 27-36, 2007.

MONTAGNA, R.G.; BARBOSA, O.; BRASIL, M.A.M; VEIGA, R.A.A.; TOLEDO FILHO, D.V. Peso da matéria seca, densidade básica e dimensões de fibras de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Silvicultura**, n. 32, p. 837-840, 1983.

MORAES, M.L.T.; MISSIO, R.F.; SILVA, A.M.; CAMBUIM, J.; SANTOS, L.A.; RESENDE, M.D.V. Efeito do desbaste seletivo nas estimativas de parâmetros genéticos em progênies de *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis*. **Scientia Forestalis**, n. 74, p. 55-65, 2007.

MORAES NETO, S.P.; DUBOC, E. Parâmetros genéticos da densidade básica da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, n. 213, 2008, 18p.

MORAES NETO, S.P.; MELO, J.T. Parâmetros genéticos da densidade básica da madeira de *Pinus oocarpa*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 212, 2008, 18 p.

MORAES NETO, S.P.; TELES, R.F.; RODRIGUES, T.O. Caracterização da madeira de cinco procedências de *Pinus tecunumanii* implantadas no Cerrado do Distrito Federal. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, n. 233, 2009, 30 p.

MORAES NETO, S.P.; MELO, J.T.; TELES, R.F.; RODRIGUES, T.O. Variação das propriedades físicas da madeira de cinco procedências de *Pinus tecunumanii* no Cerrado do Distrito Federal. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, n. 252, 2009b, 20 p.

MORESCHI, J.C. **Levantamento da qualidade da madeira com plantações artificiais de *Pinus elliottii* nos estados do sul do Brasil**. 162 f. Dissertação. (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1975.

MORESCHI, J.C. **Propriedades tecnológicas da madeira**, 3 ed. DETF, 2010. 176 p.

MOURA, M.J.; FIGUEIREDO, M.M. Estudos de variabilidade numa árvore de *Eucalyptus globulus*. **O Papel**, v. 63, n. 6, p.71-79, 2002.

MOURA, V.P.G.; PARCA, M.L.S.; SILVA, M.A. Variação da densidade básica da madeira de espécies e procedências de *Pinus* centro-americanos em três locais na região dos Cerrados. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 22-23, p.29-44, 1991.

MOURA, V.P.; VALE, A.T. Variabilidade genética na densidade básica da madeira de *Pinus tecunumanii* procedente do México e da América Central no cerrado. **Scientia Forestalis**, n. 62, p. 104-113, 2002.

MOURA, V.P.G.; VALE, A.T.; ISAIAS, F.B. Comparação entre dois métodos de avaliação da variabilidade genética em volume, densidade básica da madeira e matéria seca de *Pinus tecunumanii* (Schwd) Eguiluz e Perry. **Ciência Florestal**, v. 14, n.1, p. 77-84, 2004.

QUEIROZ, S.C.S; GOMIDE, J.L; COLODETTE, J.L.; OLIVEIRA, R.C. Influência na densidade básica da madeira na qualidade da polpa Kraft de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden X *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Árvore**, v. 28, n.6, p.901-909, 2004.

OLIVEIRA, F. L.; LIMA J. N., GARCIA, J. N., FLORSHEIM, S. M. B. Propriedades da madeira de *Pinus taeda* L. em função da idade e da posição radial na tora. **Revista do Instituto Florestal**, v. 18, p. 59-70, 2006.

PALERMO, G.P.M.; LATORRACA, J.V.F.; SEVERO, E.T.D.; REZENDE, M.A.; ABREU, H.S. Determinação da densidade da madeira de *Pinus elliottii* Engelm através de radiação gama. **Floresta e Ambiente**, v. 11, n.1, p. 1-6, 2004.

PANSHIN, A.J.; DE ZEEW, C. **Textbook of wood technology**: II. New York, MC Graw Hill, 4 ed., 722 p. 1980.

PEARSON, RG., GILMORE, RC. Effect of fast growth rate on the mechanical properties of *Loblolly pine*. **Forest Products Journal**. v. 30, n.5, p. 47-54, 1980.

PEREIRA, J.C.; TOMASELLI, I. A influência do desbaste na qualidade da madeira de *Pinus elliottii* Engelm var. *elliottii*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 49, p. 61-81, 2004.

PINHEIRO, A. L. **Considerações sobre taxonomia, filogenia, ecologia, genética, melhoramento florestal e a fertilização mineral e seus reflexos na anatomia e qualidade da madeira.** Viçosa, SIF, 1999, 144 p.

PUEHRINGER, C.A. **Uso de emissão de ondas de tensão para avaliação não destrutiva de árvores e da madeira de *Pinus taeda* L.** 104 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

REMADE. Retratibilidade da madeira. Revista da madeira, n.59, 2001. Disponível em: <<http://www.remade.com.br>>. Acesso em 18/02/2012.

REZENDE, M.A.; SAGLIETTI, J.R.C.; GUERRINI, I.A. Estudo das interrelações entre massa específica, retratibilidade e umidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* aos 8 anos de idade. **IPEF**, n. 48-49, p. 133-141, 1995.

REZENDE, M.A.; SEVERO, E.T.D.; QUINTANA, I.R. Estudo das variações da massa específica em *Pinus oocarpa* através da técnica de atenuação de radiação gama. **Floresta**, v. 29, n.1, p. 67-84, 1999.

RIBEIRO, P. G. **Utilização de técnicas não destrutivas para caracterização de madeiras de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e de *Eucalyptus grandis*.** 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

ROCHA. M.P. *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden **como fontes de matéria prima para serrarias.** 157 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

ROSADO, S.C.S.; BRUNE, A. Crescimento de árvores: estimativa de correlações entre idades diferentes e sua influência da densidade básica da madeira em *Eucalyptus ssp.* **Revista Árvore**, v.7, n.1, p. 11-22, 1983.

SAMPAIO, P.T.B. **Varição genética entre procedências e progênies de *Pinus oocarpa* Schiede, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. & Golf. e *Pinus maximinoi* H. E. Moore e métodos de seleção para melhoramento genético.** 169 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996.

SANSÍGOLO, C.A.; BARREIROS, R.M. Estudo comparativo das madeiras de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa* para produção de celulose Kraft. In: III CONGRESSO IBEROAMERICANO EN CELULOSA Y PAPEL, 2004, Cordoba. **Anais...** CIADICYP, 2004.

SCHÖNAU, A.P.G. The effect of planting espacement and pruning on growth, yield and timber density of *Eucalyptus grandis*. **South African Forestry Journal**, n.88, p.16-23, 1974.

SENF, J.F.; BENDTSEN, B.A.; GALLIGAN, W.L. Weak wood. **Journal of Forestry**, v.83, n.8, p. 476-485, 1985.

SENF, J.F. Pratical significance of juvenile wood for the use. IUFRO WORLD CONGRESS 1986. **Proceedings....** Ljubljana, p. 261-271.

SHIMIZU, J.Y.; SEBBENN, A.M. Espécies de *Pinus* na silvicultura brasileira. In: SHIMIZU, J.Y. (Ed.). **Pinus na silvicultura brasileira**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. p. 49-74.

SHIMOYAMA, V. R. S. **Variações da densidade básica e características anatômicas da madeira em *Eucalyptus spp.*** 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Departamento de Ciências Florestais, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1990.

SHIMOYAMA, V. R. S.; WIECHETECK, M. S. S. Características da madeira e da pasta termomecânica de *Pinus patula* var. *tecunumanii* para produção de papel imprensa. **IPEF**, v. 9, n. 27, p. 63-80, 1993.

SHIMOYAMA, V. R. S. **Estimativas de propriedades da madeira de *Pinus taeda* através do método não destrutivo de emissão de ondas de tensão, visando a geração de produtos de alto valor agregado**. 151 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2005.

SILVA, J.M. **Análises genéticas em progênies de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* por caracteres quantitativos e marcadores moleculares**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista Julio Mesquita, Ilha Solteira, 2005.

SKAAR, C. **Water in wood**. New York: Syracuse University Press. 1972. 218 p.

SPURR; S.H.; HYVARINEN, M.J. Wood fiber length as related to position in tree and rowth. **The Botanical Review**, v. 20, p. 561-575, 1954.

SOUSA, R.C.; GIOVANINI, E.P.; FLORSHEIM, S.M.B.; GARCIA, J.N. Efeito da idade e da posição radial na densidade básica e nas dimensões dos traqueóides da madeira de *Pinus taeda* L. **Revista do Instituto Florestal**, v. 19, n. 2, p. 119-127, 2007.

STATGRAPHICS. Centurion XVI **User Manual**. by StatPoint Technologies, Inc. 2009.

TORRES, L.F.; MELO, R.; COLODETTE, J.L. Bleached kraft pulp production from *Pinus Tecunumanii* (Eguiluz e Perry). **Árvore**, v. 29, n. 3, p. 489-494, 2005.

TRIANOSKI, R. **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada** 262 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

TRUGILHO, P. F.; SILVA, D. A.; FRAZÃO, F. J. L.; MATOS, J. L. M. Comparação de métodos de determinação da densidade básica em madeira. **Acta Amazônica**, v. 20, p. 307-319, 1990.

TSOUMIS, G. T. **Science and technology of wood**: structure, properties, utilization. New York: Chapman e Hall, 1991. 479 p.

UPTON, J. L; DONAHUE, J. K. *Pinus chiapensis* (Martínez) **Andresen**. Part II - Species description, p. 612-614, 2003.

USDA **The Southern Pines**: An American Wood United States. Department of Agriculture FS-256 11p. 1985.

VALE, A.T.; BRASIL, M.A.M.; MARTINS, I.S. Variação axial da densidade básica da madeira de *Acacia magium* Willd aos sete anos de idade. **Ciência Florestal**, v. 9, n. 2, p. 85-92, 1999.

VALE, A.T.; ROCHA, L.R.; DEL MENEZZI, C.H.S. Massa específica básica da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* cultivado em cerrado. **Scientia Forestalis**, v. 37, n. 84, p. 387 - 394, 2009.

VICENTE, A.T.V.; MOURA, V.P.G.; FIORENTINI, E.A.; SOUZA, M.R. Variação radial e axial da massa específica básica e das contrações de madeira de quatro procedências de *Pinus*. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, n. 28, 2005. 27 p.

WALGREN, H.E.; SCHUMAN, D.R. Properties of major southern pines. USDA, **Forest Service Research Paper**, Forest Products Laboratory, Madison, n. 176 p. 1-57.

WRIGHT, J.A.; GIBSON, G.L.; BARNES, R.D. Variation in stem volume and wood density of *P. caribaea*, *P. oocarpa* and *P. patula* ssp. *tecunumanii* in Zambia. **Commonweath Forestry Review**, v. 65, n.1, p. 202, 1986.

WRIGHT, J.A.; WESSELS, A. Laboratory scale pulping of *Pinus pseudostrobus*, *Pinus maximinoi* e *Pinus patula*. **IPEF Internacional**, v. 2, p. 39-44, 1992.

WRIGHT, J.A.; MALAN, F.S. Variation in wood and tracheid properties of *Pinus maximinoi*, *P. pseudostrobus* and *P. patula*. **IAWA**, v.12, n. 4, p. 467 - 475, 1991.

XAVIER, J.A.; MATOS, J.L.M.; TRIANOSKI, R. Variabilidade da massa específica básica de *Pinus taeda* L. em diferentes idades de plantio In: I SIMADERJ – SIMPÓSIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Anais...** 2008.

ZIMMERMANN, M.H. & BROWN, C.L. – **Trees structure and function**. New York, Springer-Verlag, 1974. 336p.

ZOBEL, B. J. Inheritance of wood properties in conifers. **Silvae Genetica**, v. 10, p. 65-70, 1961.

ZOBEL, B. J. Inherent differences affecting wood quality in fast-grown plantations. In: IUFRO CONFERENCE, Oxford. **Proceedings...** Oxford: IUFRO 1980. p. 169-188.

ZOBEL, B. Wood quality from fast-grown plantations. **TAPPI**, v. 64, n. 1, p. 71-74, 1981.

ZOBEL, B.J. The changing quality of the world wood supply. **Wood Science and Technology**, n.18, n.1, p.1-17, 1984.

ZOBEL, B.J.; TALBERT, J. **Applied forest tree improvement**. New York, John Wiley, 1984. 505p.

ZOBEL, B.J.; BUIJTENEN, J.P. **Wood variation: its causes and control**. Berlin: Springer-Verlag, 1989. 361 p.

ZOBEL, B.J.; KELLISON, R.C.; MATHIAS, M.F.; HATCHER, A.V. Wood density of the southern pines. **North Carolina Agricultural Experiment Station Technical Bulletin**, n. 208, p.1-56, 1972.

CAPÍTULO 8

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

CAPÍTULO 8

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

8.1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma ampla cobertura florestal, a qual vem sendo gradativamente aumentada devido às eficientes técnicas silviculturais e de manejo, tendo resultado no aumento da produtividade de madeira a partir das florestas de rápido crescimento. Esta produtividade é capaz de suprir as necessidades da indústria de base florestal, nos seus mais variados segmentos.

Entre as principais atividades industriais, sobressaem os segmentos da indústria de móveis e da construção civil, especialmente o habitacional.

A indústria moveleira se caracteriza pela grande velocidade produtiva e por elevados volumes de produção, as quais garantem a sua competitividade. Para manter estas características, a indústria requer matéria prima com propriedades uniformes, tanto físicas e organolépticas quanto mecânicas, além de propriedades adequadas a trabalhabilidade, colagem e com facilidade de acabamento. No Brasil, a indústria de móveis está entre os mais importantes segmentos da indústria de transformação no País, não só pela importância do valor da sua produção, mas também pela sua geração de empregos dentro da indústria nacional.

A construção civil, como mencionado anteriormente, é outro nicho de aplicação da madeira, onde na condição de material de construção, a madeira incorpora um conjunto de características técnicas, econômicas e estéticas que dificilmente são encontradas em outro material. No entanto, nas regiões Sul e Sudeste, o setor de construção com madeira restringe a utilização de poucas espécies (10 a 12), de conhecimento e aceitação pelos usuários e construtores. Esta concentração em poucas espécies, e ainda o fato de serem na maior parte espécies nativas, resulta em escassez e preço elevado, fator que gera a necessidade de

substituição das espécies tradicionalmente empregadas neste ramo, por espécies alternativas. A utilização da madeira na construção civil também requer algumas características específicas, entre elas matéria prima uniforme, continuidade de suprimento, baixo custo, além da necessidade de serem provenientes de plantios sustentáveis.

Critérios de seleção por meio das propriedades físicas e resistência mecânica podem indicar que as características requeridas pelo setor de construção civil podem ser encontradas em florestas plantadas de rápido crescimento, indicando o seu uso nas mais variadas formas, seja como ripas, tábuas ou caibros, ou ainda em construções leves e painéis pré-fabricados de rápida instalação.

Além disso, tanto a indústria moveleira quanto a de construção civil, e por que não citar ainda, as indústrias de produtos de maior valor agregado, requer disponibilidade de matéria prima constante e preços competitivos. Estas características podem ser encontradas a partir da madeira sólida proveniente das florestas de *Pinus*.

Para isso, torna-se necessário não apenas incentivos ao aumento das áreas plantadas com as espécies tradicionalmente utilizadas (*Pinus taeda* e *Pinus elliottii*), mas também, direcionamento de esforços e desenvolvimento de novas pesquisas relacionadas a introdução e qualificação da madeira de outras espécies de *Pinus*, entre elas, *Pinus* tropicais, as quais podem, além de aumentar a produtividade, volume de madeira ofertado e diversificação de matéria prima, fornecer madeira com melhores propriedades aos mais diversos usos.

Um passo inicial e de grande importância já foi dado a partir das iniciativas do programa coordenado pela CAMCORE, a qual por meio de diversas parcerias no mundo todo promoveu a introdução de espécies de *Pinus* tropicais, onde no Brasil, este programa fortaleceu enormemente a silvicultura e revelou grande potencial produtivo a partir dos testes de progênies e procedências.

Embora estas espécies tenham revelado potencial produtivo, escassos são os estudos relativos a qualidade da madeira, sobretudo em relação as propriedades mecânicas. O conhecimento das propriedades mecânicas destas espécies torna-se então, uma importante ferramenta para avaliação da qualidade e para a correta aplicação do material às mais diversas finalidades, gerando com isso maior valor

econômico ao setor. Além disso, o conhecimento da variação das propriedades pode eliminar inúmeros problemas gerados no processo industrial, na produtividade e consequentemente na qualidade do produto final.

8.1.1 Objetivo geral

Avaliar as propriedades mecânicas de sete espécies de Pinus tropicais por meio de técnicas tradicionais e não destrutivas.

8.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar as propriedades de flexão estática, compressão paralela às fibras, cisalhamento e dureza Janka nas diferentes espécies.
- Avaliar a influência do teor de umidade sobre as propriedades mecânicas.
- Avaliar a influência da posição longitudinal sobre as propriedades mecânicas.
- Avaliar a relação entre o módulo de elasticidade obtido pelo método convencional e o módulo de elasticidade dinâmico determinado a partir do método de propagação de ondas de tensão.
- Estabelecer relações entre as propriedades mecânicas e a massa específica nas diferentes condições de ensaio.
- Avaliar a eficiência da utilização do método de propagação de ondas de tensão nas árvores em pé e nas toras para classificação da qualidade mecânica da madeira das espécies estudadas.

8.2 REVISÃO DE LITERATURA

O estudo das características da madeira é essencial para seu uso eficiente (BENDSTEN, 1978), onde tanto as propriedades físicas como as mecânicas podem fornecer informações valiosas para a sua industrialização (KOLLMANN, 1959). Lucas Filho (1997) complementa, relatando que o conhecimento preciso das propriedades mecânicas para sua adequada utilização é fundamental, pois além de proporcionar informações sobre sua industrialização, fornece parte dos subsídios necessários para que se possa utilizar este recurso com economia e segurança.

De acordo com Panshin e De Zeeuw (1980) as propriedades mecânicas da madeira estão associadas às características de elasticidade e resistência, e podem ser definidas a partir do seu comportamento quando uma força externa é aplicada, onde este comportamento varia de acordo com o tipo de força que é exercida na madeira e em que sentido que é aplicada.

Um corpo é denominado elástico quando a deformação produzida pela aplicação de uma carga é completamente anulada após o relaxamento ou remoção desta carga, ou seja, o corpo retorna a forma e a posição original (PARKER, 1963; IWAKIRI, 1982). Assim, a elasticidade é a propriedade que um material tem de armazenar na forma de energia potencial interna, o trabalho mecânico de deformação provocado por uma solicitação externa, devolvendo esta energia total ou parcialmente quando é removida a causa da deformação (KLOCK, 2000).

O módulo de elasticidade é sempre obtido abaixo do limite de proporcionalidade. Acima do limite proporcional, as deformações sofridas pelo material se tornam plásticas e são irreversíveis (KOLLMANN, 1959; KOLLMANN; COTÊ, 1968; TSOUMIS, 1991; MATSUNAGA, 1995; MATOS, 1997; LUCAS FILHO, 1997; KLOCK, 2000).

Em termos práticos, o módulo de elasticidade expressa a carga necessária para estender um corpo de 1 cm² de área transversal ao dobro do seu comprimento original. É um valor teórico introduzido para facilitar o cálculo estrutural, pois nunca se consegue uma deformação da grandeza do comprimento do próprio corpo, porque antes disso ocorrerá à ruptura (PARKER, 1963; IWAKIRI, 1982; MATOS, 1997; KLOCK, 1989).

O módulo de elasticidade é uma propriedade intrínseca do material e depende tanto da rigidez das ligações atômicas como da densidade das ligações (FERRANTE, 2002), o qual pode ser obtido tanto a partir do ensaio de flexão estática como a partir dos ensaios de tração e compressão (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968; BODIG, JAYNE, 1993). Os valores encontrados para compressão paralela e tração, são muito similares entre si, enquanto que no ensaio de flexão os valores são um pouco menores.

O módulo de elasticidade também está associado à rigidez, ou melhor, expressa a rigidez. A rigidez da madeira é uma medida da aptidão da madeira resistir a deformação imposta pela carga. Desta forma, e em termos práticos, um material de difícil deformabilidade pode ser chamado de rígido (WANGAARD, 1950; IWAKIRI, 1982; MATOS, 1997) e quanto menor for esta deformabilidade, melhor é a aptidão da madeira para fins estruturais (TSOUMIS, 1991).

Já a resistência de um material, é a capacidade de uma determinada estrutura resistir cargas (GERE, 2003), e está associada a composição do material (FERRANTE, 2002). É também definida como o esforço máximo que ocorre antes da ruptura (PARKER, 1963; MATOS, 1997). Alguns materiais possuem reservas consideráveis entre resistência entre o limite elástico e a resistência máxima (IWAKIRI, 1982; MATOS, 1997).

Em relação à resistência do material madeira, ensaios com amostras provenientes de uma mesma espécie com mesmas dimensões, e nas mesmas condições físicas de climatização, podem resultar numa variação significativa nos valores de resistência. Esta variabilidade nos resultados é explicada pelas diferentes composições químicas e pela ocorrência de elementos anatômicos em diversos tamanhos e proporções, e nos mais variados arranjos estruturais (BRITO; BARRICHELO, 1979; PANSHIN; DE ZEEUW, 1980; TSOUMIS, 1991; BOWYER; SHMULSKY; HAYGREEN, 2003) e deve ser levada em consideração quando se estabelece o esforço admissível para diferentes espécies e classes de qualidade da madeira para fins estruturais (PARKER, 1963; IWAKIRI, 1982; KLOCK, 1989; MATOS, 1997; LUCAS FILHO, 1997).

A avaliação da resistência da madeira, assim como a elasticidade, é determinada a partir de vários ensaios os quais dependem do esforço solicitante, e determinam a possível utilização.

8.2.1 Fatores que afetam as propriedades mecânicas

As propriedades da madeira são afetadas por uma série de fatores, entre eles, genéticos, práticas silviculturais, condições climáticas, sítio, massa específica, idade, ângulo de grã, constituintes químicos e anatômicos, teor de umidade, proporção de lenho inicial e tardio, madeira juvenil, presença de nós, entre outros (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968; WANG *et al.*, 2005; CATO *et al.*, 2006; HASELEIN *et al.*, 2000), onde este elevado número de variáveis permite concluir que a madeira é um material de comportamento extremamente complexo (SILVA, 2002). Desta forma, para estabelecer classes de resistência há a necessidade de se conhecer as variáveis e de que forma elas influem na resistência (BENDSTEN, 1978).

De acordo com Kollmann (1959) não existem dúvidas de que a resistência da madeira, em geral, depende da massa específica, no entanto, é bastante difícil quantificar esta dependência, tendo em vista a influência simultânea de outros fatores, como por exemplo, nodosidade, orientação da grã e principalmente, teor de umidade. Lucas Filho (1997) corrobora relatando que as características morfológicas podem ser também indicadores de qualidade e, por conseguinte, da utilização econômica deste recurso e Moreira (1999) complementa que as propriedades mecânicas apresentam uma associação significativa com muitas das características anatômicas, em especial as que dizem respeito às fibras e vasos, as quais explicam parcialmente a variabilidade da rigidez entre os diferentes tipos de madeira.

Embora a massa específica seja uma das propriedades mais relacionada às propriedades mecânicas, pois permite obter conclusões sobre a adaptabilidade da madeira como material para fins estruturais (TRENDELEMBURG; MAYER-WEGELIN, 1955¹⁴, citado por KLOCK, 1989), além de ser a mais significativa para caracterização de madeiras destinadas a construção civil, e estar linearmente relacionada com o módulo de ruptura, módulo de elasticidade, resistência a compressão paralela e cisalhamento, este item dará ênfase a dois outros fatores, também de grande influência sobre as propriedades de resistência e rigidez, sendo eles o teor de umidade e a posição longitudinal.

¹⁴ TRENDELEMBURG, R.; MAYER-WEGELIN, H. **Das holz als rohstoff**. München, Verlag, 1955. 541p.

8.2.1.1 Teor de umidade

A água é um componente essencial para as atividades fisiológicas das árvores e conseqüentemente para o seu crescimento, e no caso das espécies lenhosas, para a produção de madeira. Após o corte da árvore, esta água vai sendo lentamente evaporada até que o teor de umidade da madeira atinja o equilíbrio com a umidade relativa do ar.

A água presente na madeira pode ser classificada em água livre ou capilar, que é a água localizada nos lumens celulares e nos espaços intercelulares e água higroscópica ou de impregnação, caracterizada pela água que se encontra adsorvida pelas paredes celulares, principalmente pela celulose e hemiceluloses que constituem a maior parte da substância madeira (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968; SIMPSON, 1991; HAYGREEN; BOWYER, 1996; FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999). Bauer (1985) cita ainda a ocorrência da água de constituição, a qual está combinada quimicamente com os principais constituintes do material lenhoso e não pode ser eliminada sem a destruição do material.

O processo de evaporação da água da madeira ocorre primeiramente no lúmen das células e nos espaços intercelulares. Quando é atingido o estado em que as paredes celulares estão saturadas e os lumens e os espaços intercelulares estão vazios, diz-se foi atingido o ponto de saturação das fibras (PSF), e segundo Siau (1984) nesta condição, a umidade relativa do ar é próxima a 100%, ou mais precisamente 98%. De acordo com Kollmann (1959) para espécies de zonas temperadas o ponto de saturação das fibras de inúmeras espécies, obtidas a partir de diversas pesquisas está entre 28% e 30%, onde acima deste intervalo de umidade ocorrem apenas alterações no peso, sendo que as propriedades mecânicas não são alteradas. Siau (1984) corrobora com a afirmação citando que Tiemann (1906) foi o primeiro pesquisador a verificar que as propriedades mecânicas da madeira eram pouco afetadas pela água livre ou capilar e que este comportamento é justificado pelo fato de que somente a parede celular contribui na resistência.

Abaixo deste teor de umidade começa a ocorrer a evaporação das moléculas de água presentes na parede celular. A evaporação desta água promove alterações

significativas nas propriedades físicas e mecânicas da madeira (PANSHIN; DE ZEEUW, 1980; GEHRARDS, 1982; TSOUMIS, 1991, GALVÃO; JANKOWSKY, 1988; SKAAR, 1972; SIMPSON, 1991; HAYGREEN; BOWYER, 1996; SANTINI, 1996; TOMASELLI; KLITZKE, 2000).

Em relação às propriedades físicas, ocorrem variações na massa específica e também nas dimensões das peças como já relatado no Capítulo 7. Em relação às propriedades mecânicas, um dos enfoques deste capítulo, ocorrem alterações nas propriedades de resistência e rigidez, podendo comprometer muitas vezes o uso da madeira e gerar diversos inconvenientes. Além disso, as variações do teor de umidade afeta a adequação da madeira para os diversos tipos de processamento (HAYGREEN; BOWYER, 1996; PANSHIN; DE ZEEUW, 1980; TSOUMIS, 1991; REZENDE, SAGLIETTI; GUERRINI, 1995), como na laminação, produção de cavacos e partículas, madeira serrada, etc.

Dando-se ênfase a influência do teor de umidade sobre as propriedades mecânicas, vale ressaltar que as relações de dependência entre estas duas propriedades têm sido amplamente estudadas por muitos pesquisadores como Brotero (1956), Gehrards (1982), Green, Evans e Pellerin (1991), Madsen (1992), Lucas Filho (1997) e Haselein *et al.* (2002).

Assim, para avaliar a resistência de diferentes espécies, bem como estabelecer comparações adequadas é necessário estabelecer um teor de umidade de referência, pois uma espécie de menor resistência, com baixo teor de umidade pode apresentar maior resistência que uma espécie sabidamente mais resistente, porém com elevado teor de umidade (LONGSDON; CALIL JUNIOR, 2002).

O valor normalmente utilizado para esta finalidade é 12%, tanto para ensaios como para ajustes de resistência, de acordo com procedimentos padrões ou valores normatizados (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1955; KOLLMANN; COTÊ, 1968; GURFINKEL, 1973; TSOUMIS, 1991; LONGSDON; CALIL JUNIOR, 2002).

Desta forma, o Laboratório de Produtos Florestais (FPL, 1955) recomenda para correção das propriedades de resistência e rigidez, os valores apresentados na Tabela 8.1.

TABELA 8.1 – VALORES PARA CORREÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DEVIDO A VARIACÃO NO TEOR DE UMIDADE

Propriedade	Variacão percentual (%) a cada 1% de variacão no teor de umidade
Flexão estática	
Tensão no limite proporcional	5
Módulo de ruptura	4
Módulo de elasticidade	2
Compressão paralela às fibras	
Tensão no limite proporcional	5
Força máxima	6
Compressão perpendicular às fibras	5,5
Cisalhamento paralelo	3
Tração perpendicular	1,5
Dureza	
Lateral	2,5
Topo (longitudinal)	4

Fonte: FOREST PRODUCTS LABORATORY (1955)

Green, Evans e Pellerin (1991) e Madsen (1992) complementam a influência do teor de umidade sobre as propriedades da madeira mencionando que a relação resistência-umidade pode ser diferente para diferentes propriedades ou para madeira de qualidade distinta. De acordo com Madsen (1992) a resistência a compressão paralela é extremamente sensível com a mudança do teor de umidade, por outro lado, o módulo de elasticidade e a tração paralela são menos afetados.

Assim, pode se afirmar que a influência do teor de umidade sobre as propriedades mecânicas não é ainda totalmente explicada, tornando-se necessário o desenvolvimento de mais estudos sobre a influência a umidade sobre as propriedades de resistência e rigidez de diferentes espécies.

8.2.1.2 Posição na árvore

O crescimento das árvores ocorre devido a presença de tecidos meristemáticos, os quais possuem a capacidade de produzir novas células. O meristema apical encontra-se no ápice do tronco ou dos ramos e é responsável pelo crescimento em altura, e o meristema cambial localiza-se entre o floema e o alburno e responde pelo crescimento em diâmetro (BURGER; RICHTER, 1991).

Com o passar do tempo novas células xilêmicas vão sendo formadas, as quais passam por um processo de diferenciação que envolve modificações na forma e tamanho (BURGER; RICHTER, 1991), formando zonas distintas de acordo com a posição no fuste, as quais podem ser claramente diferenciadas (COWN, 1974).

A natureza dos elementos celulares da madeira é fortemente influenciada pela idade da árvore, a qual, nas espécies de rápido crescimento, está diretamente relacionado à presença de madeira juvenil.

Como amplamente relatado no Capítulo 7, a madeira juvenil difere da madeira adulta, apresentando normalmente fibras ou traqueóides mais curtos, parede celular mais fina, menor percentual de lenho tardio e massa específica mais baixa, a qual implica em propriedades mecânicas inferiores (BENDSTEN, 1978; PANSHIN; DE ZEEUW, 1980; ZOBEL, 1981; ZOBEL, 1984, SENFT; BENDSTEN; GALLIGAN, 1985; ZOBEL; BUIJTENEN, 1989; KLOCK, 2000).

Segundo Larson, Nichols, Dadswell (2001) tanto o módulo de ruptura como o módulo de elasticidade são altamente correlacionados com a massa específica, e como a massa específica depende em grande parte da madeira juvenil, pode-se dizer que as propriedades de resistência e rigidez são fortemente afetadas pela madeira juvenil.

Ainda segundo o Capítulo 7, verifica-se que a proporção de madeira juvenil aumenta do sentido base-topo, onde para as espécies estudadas, foi constatado que na base da árvore, a proporção de madeira juvenil é cerca de 50% do volume e a partir de 75% da altura comercial, exceto o *Pinus tecunumanii*, todas as espécies apresentam 100% de madeira juvenil.

Em função das características da madeira juvenil e do aumento deste tipo de madeira no sentido longitudinal do fuste, as propriedades mecânicas são reduzidas, no entanto, escassos são os estudos que apresentam uma abordagem sistemática desta variação, sendo então, necessária a avaliação do comportamento da resistência e da elasticidade ao longo do fuste de diferentes espécies.

Da mesma forma, a variação das propriedades da madeira, ocorre também no sentido radial (medula-casca) em virtude principalmente da conformação dos anéis de crescimento, os quais apresentam-se mais largos na região próximo a medula e mais estreitos e uniformes a medida que se aproximam da casca, os quais também estão relacionados a presença de madeira juvenil e que afetam significativamente as propriedades da madeira. No entanto, a variação radial das propriedades será abordada com maiores detalhes no Capítulo 9, o qual envolve a comparação das propriedades de resistência e rigidez entre madeira localizada próximo a medula e madeira situada próximo a casca.

8.3 MATERIAIS E MÉTODOS

Após a seleção das árvores, determinação das características dendrométricas, aplicação das ondas de tensão, derrubada e seccionamento do fuste, as toras foram conduzidas a uma serraria para execução do desdobro principal, seleção, amostragem.

Para a determinação das propriedades mecânicas foram amostradas toras de todas as árvores derrubadas, e em todas as posições no sentido longitudinal, a fim de manter e representar toda a variabilidade das propriedades.

A Figura 8.1 mostra o processo de desdobro para obtenção das pranchas e pranchões.



FIGURA 8.1 – PROCESSO DE IDENTIFICAÇÃO DAS TORAS E DESDOBRO
a) Amostragem e seleção; b e c) Desdobro principal; d) Pranchões amostrados.

Após a obtenção dos pranchões, os mesmos foram transportados para as dependências da Universidade Federal do Paraná, para confecção dos corpos de prova a serem utilizados nos ensaios.

Os ensaios mecânicos foram realizados em duas condições físicas, sendo em estado verde (acima do ponto de saturação das fibras), e após climatização ($20^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e $65\% \pm 5\%$) com umidade de equilíbrio próxima a 12%. Para os ensaios em estado verde, após o desdobro, os corpos de prova foram imediatamente confeccionados e ensaiados. No caso dos ensaios efetuados em umidade de equilíbrio de 12%, o material foi cortado com sobre-medida sendo estabelecida a dimensão final após ter ocorrido a redução de umidade.

O esquema de retirada e a confecção dos corpos de prova para os ensaios nas duas condições acima descritas podem ser visualizados na Figura 8.2.

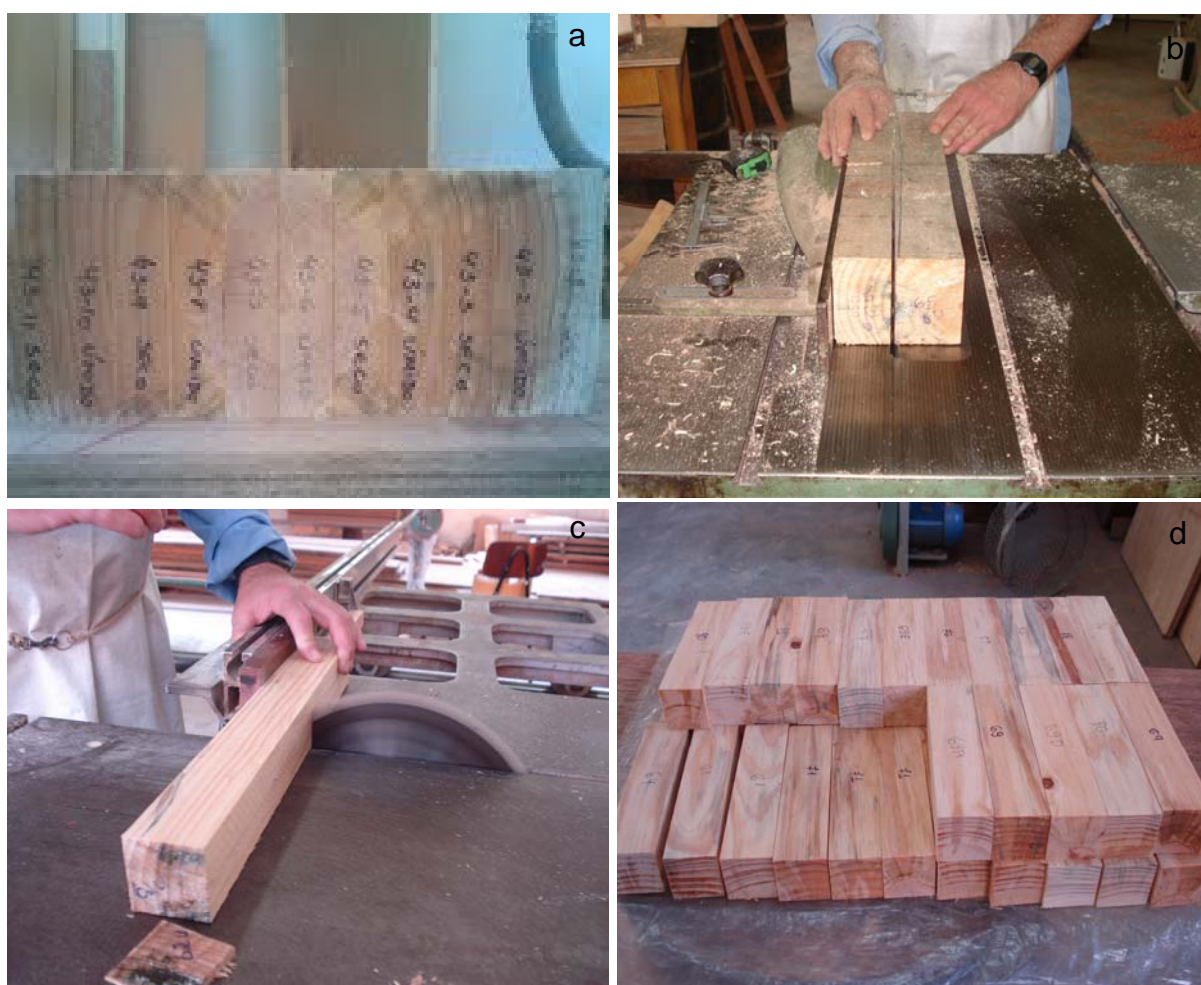


FIGURA 8.2 – ESQUEMA DE RETIRADA E CONFECÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA DOS ENSAIOS MECÂNICOS

a) Amostragem para ensaios úmido e com umidade de equilíbrio de 12%; b e c) Confeção das amostras; d) Amostras prontas.

Para todos os corpos de prova foi determinada a massa específica aparente e a massa específica básica por meio do método estereométrico, assim como o teor de umidade, pelo método gravimétrico.

Especificamente para as amostras utilizadas no ensaio de flexão estática, foi determinado antes dos ensaios convencionais, o módulo de elasticidade dinâmico pelo método acústico de emissão de ondas de tensão, a fim de estabelecer comparação com os resultados obtidos pelo método convencional e verificar a eficiência da técnica.

Os procedimentos relacionados à climatização, medição e determinação do módulo de elasticidade dinâmico podem ser visualizados na Figura 8.3.



FIGURA 8.3 – CLIMATIZAÇÃO, MEDIÇÃO E DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO

a) Climatização; b) Medição das amostras; c) Secagem; d) Determinação do módulo de elasticidade dinâmico pelo método de propagação de ondas de tensão.

Os ensaios mecânicos realizados encontram-se abaixo relacionados, juntamente com as respectivas normas.

- Flexão estática (COPANT 555/1972)
- Compressão paralela às fibras (COPANT 464/1972)
- Cisalhamento (COPANT 463/1972)
- Dureza Janka (COPANT 465/1972)

Os resultados médios obtidos para os ensaios acima mencionados são apresentados ao longo do trabalho no Sistema Internacional de Unidades (SI), ou seja, as propriedades de flexão estática, compressão e cisalhamento são apresentados em MPa (Mega Pascal) e a Dureza Janka em N (Newtons).

Os procedimentos inerentes a estes ensaios são ilustrados na Figura 8.4, sendo enfatizadas algumas características importantes.

Os ensaios realizados na condição seca a 12% apresentaram valores de teor de umidade variando entre 12% e 15%, sendo então, efetuada a correção da resistência de acordo com as indicações preconizadas pelo Forest Products Laboratory (1955), para posterior desenvolvimento das análises estatísticas.



FIGURA 8.4 – DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS

a) Flexão estática; b) Compressão verde; c) Compressão em amostras com umidade de equilíbrio de 12%;
d) Compressão; e) Dureza; f) Cisalhamento.

8.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

8.4.1 Flexão estática

8.4.1.1 Flexão estática na madeira em condição verde

Os resultados médios obtidos para o módulo de ruptura e para o módulo de elasticidade a partir do ensaio de flexão estática na condição verde são apresentados na Tabela 8.2. São apresentados também os valores médios das propriedades de massa específica verde, massa específica básica e teor de umidade, obtidos a partir de todos os corpos de prova, para fins de comparação e estabelecimento das relações existentes entre as propriedades.

TABELA 8.2 – RESULTADOS MÉDIOS DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA NA CONDIÇÃO VERDE

Espécie	MOR ¹ (MPa)	MOE ² (MPa)	ME _{verde} (g/cm ³)	ME _{básica} (g/cm ³)	TU ³ (%)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	41 a (32,29)	5.320 cd (41,92)	0,890 b (13,38)	0,402 cd (18,75)	127,84 ab (36,14)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	34 c (23,55)	4.802 d (29,98)	0,776 c (12,27)	0,357 e (12,20)	119,60 abc (27,45)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	35 bc (21,11)	5.925 bcd (31,64)	0,999 a (13,50)	0,495 a (16,33)	101,93 bc (41,06)
<i>Pinus chiapensis</i>	37 abc (13,39)	6.253 abc (15,59)	0,728 c (22,66)	0,368 de (10,66)	98,55 c (41,78)
<i>Pinus maximinoi</i>	40 ab (21,65)	7.178 ab (29,47)	0,928 ab (23,15)	0,422 bc (12,20)	121,98 abc (44,32)
<i>Pinus oocarpa</i>	41 a (21,80)	6.790 ab (31,67)	0,963 ab (16,29)	0,437 bc (14,87)	124,19 abc (36,65)
<i>Pinus tecunumanii</i>	42 a (21,60)	7.367 a (26,55)	0,932 ab (20,45)	0,447 b (12,34)	110,11 bc (41,42)
<i>Pinus taeda</i>	35 abc (27,49)	6.101 abcd (35,33)	0,975 ab (6,58)	0,407 bcd (14,16)	143,40 a (22,55)
<i>p</i>	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*

¹ Módulo de Ruptura; ² Módulo de Elasticidade; ³ Teor de umidade; Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna são estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade. *Significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo; Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras.

Para o módulo de ruptura, nota-se que o maior valor médio foi apresentado pela espécie *Pinus tecunumanii*, o qual apresentou diferença estatística significativa somente em relação às espécies *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus caribaea* var. *caribaea*. Verifica-se também, que todas as espécies de *Pinus* tropicais avaliadas não denotam diferença estatística significativa em relação à espécie utilizada como testemunha.

Em relação ao módulo de elasticidade, observa-se também, que o *Pinus tecunumanii* apresentou novamente os maiores valores médios, diferindo estatisticamente das três variedades do *Pinus caribaea*. Comparando com a espécie utilizada como referência, nenhum dos *Pinus* tropicais foi estatisticamente diferente do *Pinus taeda*.

Em relação ao teor de umidade, vale ressaltar que mesmo havendo diferença estatística significativa entre as espécies, todos os corpos de prova foram avaliados com teor de umidade acima do ponto de saturação das fibras (verde), onde a partir deste valor, não ocorrem mais alterações significativas nas propriedades físicas e mecânicas (PANSHIN; DE ZEEW, 1980; TSOUKIS, 1991, GALVÃO; JANKOWSKY, 1988; SKAAR, 1988; SIMPSON, 1991; HAYGREEN; BOWYER, 1996; SANTINI, 1996), eliminando qualquer influência desta propriedade sobre os resultados de resistência.

8.4.1.2 Flexão estática na condição de umidade de equilíbrio de 12%

Na Tabela 8.3 são apresentados os resultados médios do módulo de ruptura e módulo de elasticidade a flexão estática dos corpos de prova avaliados a 12% de umidade. Vale lembrar, que após a climatização, as amostras apresentaram teor de umidade médio no intervalo de variação de 12% a 15% nos ensaios mecânicos, sendo, portanto, efetuada a correção de todos os resultados a partir dos valores recomendados pelo Forest Products Laboratory (FPL, 1955) os quais são apresentados detalhadamente na Tabela 8.1.

TABELA 8.3 – RESULTADOS MÉDIOS DE RESISTÊNCIA A FLEXÃO ESTÁTICA NA CONDIÇÃO DE UMIDADE DE EQUILÍBRIO A 12%

Espécie	MOR ¹ (MPa)	MOE ² (MPa)	ME _{12%} (g/cm ³)	ME básica (g/cm ³)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	65 ab (31,23)	7.187 bc (39,24)	0,489 bc (18,01)	0,434 bc (17,51)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	58 b (28,32)	6.060 c (36,61)	0,445 c (14,51)	0,394 c (14,35)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	62 ab (22,66)	7.106 bc (31,48)	0,487 bc (13,12)	0,429 bc (13,02)
<i>Pinus chiapensis</i>	59 b (17,12)	7.293 bc (20,36)	0,446 c (11,14)	0,396 c (11,19)
<i>Pinus maximinoi</i>	70 a (18,71)	8.943 a (24,47)	0,526 ab (14,54)	0,465 ab (14,20)
<i>Pinus oocarpa</i>	70 a (25,37)	7.993 ab (35,71)	0,533 ab (16,87)	0,470 ab (16,90)
<i>Pinus tecunumanii</i>	71 a (16,14)	8.943 a (24,47)	0,558 a (13,20)	0,492 a (13,04)
<i>Pinus taeda</i>	64 ab (23,74)	8.234 ab (28,23)	0,514 ab (14,22)	0,454 ab (14,11)
<i>p</i>	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*

¹ Módulo de Ruptura; ² Módulo de Elasticidade. Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna são estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade; *Significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo; valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras.

De acordo com os resultados descritos, pode-se verificar que o maior valor médio para o módulo de ruptura foi obtido a partir *Pinus tecunumanii*, onde esta espécie apresentou diferença estatística significativa em relação ao *Pinus caribaea* var. *caribaea* e ao *Pinus chiapensis*. Embora existam diferenças entre os valores médios absolutos, não foi evidenciada diferença estatística significativa entre a testemunha e as espécies de *Pinus* tropicais.

Para o módulo de elasticidade, observa-se também que o *Pinus tecunumanii* apresentou o maior valor médio, diferindo estatisticamente do *Pinus chiapensis* e das três variedades do *Pinus caribaea*. Para esta propriedade é evidenciada

diferenças estatísticas significativas entre o *Pinus taeda* e uma das espécies dos *Pinus* tropicais, o *Pinus chiapensis*.

Em relação aos valores médios de massa específica aparente a 12% e básica são evidenciadas relações diretas entre a massa específica e as propriedades mecânicas, onde quanto maior o valor da massa específica mais elevada são as propriedades de resistência e rigidez. O grau de relação entre estas variáveis pode ser verificado no item das correlações entre as propriedades estudadas.

Na análise entre as variedades do *Pinus caribaea*, nota-se que a variedade *bahamensis* apresentou o maior valor médio tanto para o módulo de ruptura como para o módulo de elasticidade, assim como os maiores valores de massa específica para esta forma de determinação, confirmando as informações descritas por Shimizu (2008) que relata que a madeira desta espécie tende a ser mais densa e, portanto, de melhor qualidade física e mecânica quando comparada com a variedade *hondurensis*.

Em comparação com os valores descritos por outras pesquisas com estas mesmas espécies, observa-se que Florsheim (2010) avaliando as propriedades da madeira de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* em plantios de 16 e 30 anos a partir dos procedimentos preconizados pela Norma ASTM D-1037, obteve valores entre 13,57 MPa e 113,74 MPa para módulo de ruptura e 934,00 MPa a 23.852,70 MPa para módulo de elasticidade. Especificamente para as árvores de 16 anos, idade semelhante as árvores utilizadas neste estudo, verifica-se que a referida autora encontrou valores na faixa de 19,01 MPa a 113,74 MPa para o módulo de ruptura, e 934,00 MPa a 21.286,40 MPa para o módulo de elasticidade, onde os valores médios determinados no presente trabalho encontram-se dentro deste intervalo de variação para ambas as propriedades.

Para o *Pinus caribaea* var. *caribaea*, Banks (1977) avaliando a qualidade da madeira desta espécie, obteve valores médios para o módulo de ruptura de 85,30 MPa e módulo de elasticidade de 9.162 MPa, sendo estes valores superiores ao deste trabalho, o qual pode ser justificado pelo fato de que o referido autor utilizou em seu experimento árvores com 26 anos de idade, as quais apresentavam massa específica aparente a 12% de 0,546 g/cm³.

Em relação ao *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, Klock (1989) avaliando a espécie a partir de duas idades na região de Agudos - SP, obteve para o plantio de 14 anos em condição verde, módulo de ruptura de 36,05 MPa e módulo de elasticidade de 6.382,36 MPa e para o plantio de 20 anos, nesta mesma condição de ensaio, valores de 45,37 MPa e 8.770,14 MPa para módulo de ruptura e elasticidade, respectivamente. Comparando estes resultados com os valores obtidos para estado verde, pode-se notar que ambas as idades estudadas por este autor, apresentaram valores médios superiores aos obtidos neste trabalho. Já para os ensaios efetuados em condição seca, este mesmo pesquisador encontrou valores médios de 57,03 MPa e 8.033,12 MPa para módulos de ruptura e elasticidade a partir do plantio de 14 anos e 71,46 MPa e 10.841,99 MPa também para módulos de ruptura e elasticidade, mas para o plantio de 20 anos de idade, sendo observado neste caso, que exceto o módulo de ruptura para as árvores com 14 anos, todos os demais resultados foram superiores aos valores descritos neste trabalho. Estes valores superiores, mesmo com menor idade, podem ser atribuídos a diversos fatores, entre eles procedência das sementes e sítio de crescimento e possivelmente a forma de amostragem do material, já que este autor avaliou a resistência mecânica a partir de amostras retiradas da região do DAP e a 3,50 m, as quais em função da menor distância em relação à base da árvore, apresentam maior massa específica e conseqüentemente maior resistência mecânica. Já na amostragem utilizada neste trabalho, fez uso de amostras obtidas em todo o fuste da árvore.

Banks (1977) avaliando a qualidade da madeira do *Pinus caribaea* var. *hondurensis* obteve para experimentos na África do Sul com 24 e 25 anos, módulo de ruptura de 73,30 MPa e 74,00 MPa e módulo de elasticidade de 8.372 MPa e 8.631 MPa. Observa-se em relação aos resultados apresentados por este autor, que os valores médios encontrados nesta pesquisa são também inferiores, sendo explicados provavelmente pela variável idade, além de outras influências relacionadas à procedência e condições de crescimento.

Já González *et al.* (2009) obteve valores para módulo de ruptura no intervalo de 83,77 MPa a 99,80 MPa e módulo de elasticidade entre 7.527 MPa e 10.773 MPa para plantio com 22 e 23 anos em diferentes sítios na região de Goiás, sendo estes valores também superiores aos deste estudo, com justificativa similar ao parágrafo anterior. Ribeiro (2009) também obteve valores superiores ao deste estudo, com 89

MPa para módulo de ruptura e 10.192 MPa para módulo de elasticidade, em árvores com idade estimada de 21 anos.

Em relação aos resultados obtidos por Moraes Neto *et al.* (2009), verifica-se que estes autores obtiveram valores médios de 45 MPa e 6.861 MPa e 68 MPa e 7.558 MPa para módulos de ruptura e módulo de elasticidade, nos estados verde e seco a 12%, respectivamente, a partir de plantio com 23 anos na região de Planaltina - DF. Comparando inicialmente os resultados determinados na condição verde (45 MPa e 6.861 MPa), observa-se valores médios superiores tanto para o módulo de ruptura como para o módulo de elasticidade aos obtidos nesta pesquisa. Para os ensaios conduzidos em umidade de equilíbrio a 12%, são também evidenciados valores médios superiores, explicando-se tais resultados possivelmente pela diferença de idade e conseqüente acréscimo da massa específica.

Para a espécie *Pinus chiapensis* não foi encontrada literatura inerente as propriedades mecânicas, não sendo efetuada, portanto, comparação de valores.

Em relação ao *Pinus maximinoi*, a literatura descreve valores médios de 66,07 MPa e 8.336,90 MPa para módulo de ruptura e módulo de elasticidade (KLOCK, 2000), os quais são inferiores aos valores de 70,29 MPa para módulo de ruptura e 8.942,68 MPa para módulo de elasticidade, determinados neste trabalho. Neste caso, pode-se afirmar que as diferenças entre as propriedades estão exclusivamente relacionadas à idade, já que ambas as árvores são provenientes do mesmo sítio de crescimento.

Para o *Pinus oocarpa*, Klock (1989) apresenta resultados médios de 41,37 MPa e 6.918,78 MPa e 46,28 MPa e 8.913,66 MPa para módulos de ruptura e elasticidade em estado verde e a partir de plantios com 14 e 18 anos respectivamente. Para ensaios conduzidos em umidade de equilíbrio, este autor encontrou valores médios de 60,84 MPa e 7.404,12 MPa e 67,69 MPa e 10.028,72 MPa para módulo de ruptura e elasticidade em árvores de 14 e 18 anos, respectivamente. Em relação aos resultados obtidos por este autor, são observados resultados similares para ambas as idades, onde as diferenças encontradas podem ser consideradas como resultantes da idade e da amostragem de material para obtenção dos corpos de prova.

Considerando o *Pinus tecunumanii*, Moraes Neto, Teles e Rodrigues (2009) obtiveram valores para o módulo de ruptura de 43 MPa e 72 MPa e valores de 7.134 MPa e 8.239 MPa para o módulo de elasticidade, nos estados verde e seco a 12% respectivamente, em árvores com 23 anos de idade e a partir de 5 procedências crescendo na região de Planaltina - DF. Observa-se que embora haja uma diferença de 5 anos de idade e diferentes condições de crescimento, os valores podem ser considerados similares entre os dois estudos, para ambas as condições de avaliação.

Em relação aos resultados descritos por Moura, Vale e Oliveira (2005) que obtiveram 69 MPa e 8.466 MPa para módulo de ruptura e módulo de elasticidade, respectivamente, em árvores com 18 anos provenientes da região de Planaltina – DF, observa-se que embora ligeiramente inferiores, os valores podem ser considerados similares, e que as condições de crescimento não afetaram acentuadamente as propriedades da madeira, a fim de serem encontrados resultados médios com grandes diferenças.

Em relação ao *Pinus taeda*, verifica-se que os valores médios obtidos neste trabalho de 35 MPa e 64 MPa e 6.101 MPa e 8.234 MPa para módulos de ruptura e elasticidade, nas condições verde e seca a 12% respectivamente, são superiores aos obtidos por Klock (2000) que avaliando material proveniente do mesmo sítio de crescimento, no entanto com 12 anos de idade, obteve módulo de ruptura e módulo de elasticidade de 60,59 MPa e 7.025,10 MPa em ensaio efetuado a 12%. Verifica-se que as diferenças são explicadas principalmente em função da idade, e em parte pela amostragem, já que este autor utilizou toras entre o DAP e 25% da altura comercial para a caracterização das propriedades mecânicas.

Considerando os resultados de resistência a flexão a 12% encontrados por Oliveira *et al.* (2006) de 53,14 MPa, 67,28 MPa e 79,97 MPa, para idades de 9, 13 e 20 anos a partir de plantios em Sengés - PR, observa-se que apenas o resultado de 9 anos de idade foi inferior ao determinado neste trabalho para a espécie. Em relação ao resultado para a idade de 20 anos, a resistência superior é explicada pela idade e conseqüentemente pela massa específica, onde o valor médio desta propriedade obtido no referido trabalho foi de 0,560 g/cm³ a 12% de umidade. Para o valor de resistência na idade de 13 anos, devido a múltipla interação de fatores não é possível estabelecer uma justificativa apurada, já que mesmo com massa

específica aparente inferior ($0,490 \text{ g/cm}^3$), tais autores obtiveram resistência mais elevada.

Em relação aos resultados apresentados por Santini, Haselein e Gatto (2000) de 54,52 MPa e 5.941 MPa para módulos de ruptura e elasticidade a partir de plantios de 13 anos localizados em Quedas do Iguaçu – PR, verifica-se que os resultados obtidos para o *Pinus taeda* neste trabalho são superiores, sendo justificados pela diferença de idade.

Já para os resultados apresentados por Ballarin e Lara Palma (2003) os quais obtiveram valores médios de 107,02 MPa e 13.812 MPa para módulos de ruptura e elasticidade, respectivamente, para material provenientes de plantios com 37 anos de idade, provenientes de Manduri – SP, são observados valores superiores ao deste trabalho, cuja explicação resume-se exclusivamente a idade e consequentemente na massa específica, onde o valor médio obtido para esta propriedade foi de $0,605 \text{ g/cm}^3$ a 12%, e também a norma técnica utilizada (NBR 7190). Fazendo outra comparação com os resultados obtidos por estes mesmos autores, os quais também apresentam resultados classificados em madeira juvenil (até 14° anel de crescimento) e adulta (a partir do 18° anel de crescimento), verifica-se que para a madeira juvenil os resultados obtidos foram de 87,03 MPa para o módulo de ruptura e 10.894 MPa para o módulo de elasticidade, sendo também superiores ao deste trabalho.

De maneira geral, fazendo uma breve comparação entre os resultados de flexão estática obtidos para as espécies de *Pinus* tropicais e os resultados descritos pela literatura para as espécies amplamente utilizadas pela indústria de base florestal (*Pinus taeda* e *Pinus elliottii*), verifica-se que os valores médios apresentam-se similares aos mencionados por Santini, Haselein e Gatto (2000) que encontraram 54,52 MPa e 5.941 MPa para módulos de ruptura e elasticidade em *Pinus taeda* e 54,43 MPa e 7.185 MPa também para módulos de ruptura e elasticidade, no entanto em *Pinus elliottii*; aos de Haselein *et al.* (2000) que determinaram valores de 79,14 MPa e 9.061 MPa para módulo de ruptura e módulo de elasticidade em *Pinus elliottii*; aos de Pereira e Tomaselli (2004) que encontraram módulo de ruptura de 76,37 MPa e módulo de elasticidade de 9.884 MPa para *Pinus elliottii*, aos determinados por Oliveira *et al.* (2006) que obtiveram módulo de ruptura entre 53,14 MPa, e 79,97 MPa para diferentes idades de *Pinus taeda*, aos obtidos por Gatto *et al.* (2008) cujos

valores situaram-se no intervalo de 20 MPa e 108 MPa para módulo de ruptura em *Pinus elliottii*, e aos descritos por Melchiorretto e Eleotério (2003) que determinaram valores de 46,40 MPa e 49,00 MPa e 5.288 MPa e 6.330 MPa para módulo de ruptura e módulo de elasticidade em *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, respectivamente, em plantios de 25 anos localizados na região de Santa Catarina, indicando desta forma, que a madeira produzida pelas espécies de *Pinus* tropicais pode ser utilizada como substituta ou como matéria prima complementar à madeira de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*. Vale ressaltar ainda, que em função das diferentes idades a qualidade da madeira das espécies de *Pinus* tropicais poderá apresentar qualidade superior.

8.4.1.3 Influência do teor de umidade sobre as propriedades de flexão estática

Avaliando as diferenças entre os valores médios obtidos a partir dos ensaios no estado verde e em condição de umidade de equilíbrio, são verificadas grandes diferenças, conforme já preconizado por diversos autores, como por exemplo, Stamm (1964) e Longsdon e Calil Junior (2002).

Esta variação é fundamentada por Stamm (1964) que afirma que a medida que a madeira perde umidade, ocorre o fenômeno de contração, onde as unidades estruturais se aproximam, aumentando significativamente a quantidade de ligações eletrostáticas entre si.

A magnitude da influência do teor de umidade sobre as propriedades de flexão estática pode ser visualizada na Tabela 8.4.

Conforme observado na tabela, a maior taxa de variação em relação ao teor de umidade para o módulo de ruptura foi verificado no *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com um aumento de 2,81%, o que significa um aumento de aproximadamente 50% na resistência quando a madeira é seca do estado verde ou do ponto de saturação das fibras até 12% de umidade. A menor taxa de variação foi apresentada pelo *Pinus caribaea* var. *bahamensis* com valor de 2,00%, o que resulta num incremento de aproximadamente 36% quando a madeira varia seu teor de umidade do estado verde para 12%.

TABELA 8.4 – INFLUÊNCIA DO TEOR DE UMIDADE SOBRE AS PROPRIEDADES DE FLEXÃO ESTÁTICA

Espécie	$\Delta\%$ MOR ¹ PSF a 12%	Relação MOR 12%/verde	$\Delta\%$ MOE ² PSF a 12%	Relação MOE 12%/verde
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	2,00 (36,00)	1,59	1,38 (24,84)	1,35
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	2,33 (41,94)	1,72	1,12 (20,16)	1,26
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	2,81 (50,58)	1,77	0,96 (17,28)	1,20
<i>Pinus chiapensis</i>	2,20 (39,60)	1,59	0,90 (16,20)	1,17
<i>Pinus maximinoi</i>	2,45 (44,10)	1,75	1,18 (21,24)	1,25
<i>Pinus oocarpa</i>	2,24 (40,50)	1,71	0,76 (13,68)	1,18
<i>Pinus tecunumanii</i>	2,40 (43,20)	1,69	1,09 (19,62)	1,21
<i>Pinus taeda</i>	2,55 (45,90)	1,83	1,43 (25,74)	1,35

¹ Variação % no Módulo de ruptura a cada 1% de variação no teor de umidade; ² Variação % no Módulo de elasticidade a cada 1% de variação no teor de umidade; Valores entre parênteses referem-se ao acréscimo de resistência e rigidez quando a madeira passa do estado verde (PSF) para 12% de umidade; PSF: 30%.

Para o módulo de elasticidade a maior taxa de variação foi observada no *Pinus taeda* com valor médio de 1,43%, e o menor incremento foi demonstrado no *Pinus oocarpa*, com 0,76% a cada 1% de variação no teor de umidade.

As diferentes taxas de variação da resistência em função do teor de umidade encontradas para as espécies estudadas podem ser associadas a dois fatores, sendo eles, o valor do ponto de saturação das fibras e a estrutura anatômica da madeira. A respeito do ponto de saturação das fibras, pode-se dizer que embora seja adotado um valor de 30% para esta propriedade, nem todas as espécies apresentam este valor em função de suas próprias características, podendo variar de 28% a 30% (KOLLMANN, 1959) ou ainda entre 25% e 35%, dependendo da espécie e do teor de extrativos (SKAAR, 1972), gerando conseqüentemente, um pequeno desvio quando se avalia a taxa de variação da resistência em função da

umidade. Em relação à estrutura anatômica as diferenças entre tipo e quantidade de elementos celulares, bem como a composição destes elementos, provavelmente exercem influência sobre a retenção ou liberação das moléculas de água presente na parede celular, e sobre a aproximação dos elementos celulares, os quais afetam a variação da resistência neste intervalo de umidade.

Considerando os valores descritos pelo Laboratório de Produtos Florestais (FPL,1955) e utilizados inicialmente para correção da resistência e conseqüentemente comparação dos resultados das diferentes espécies, verifica-se que as diferenças são grandes, no entanto podem ser explicadas pelo fato de que os valores de referência recomendados pelo referido departamento foram obtidos a partir de diferentes espécies (aproximadamente 50), crescendo sob as condições climáticas dos Estados Unidos, as quais provavelmente apresentam comportamento tecnológico diferenciado.

Outra justificativa para tais resultados pode ser dada em função do intervalo de variação avaliado. No intervalo entre o ponto de saturação das fibras até a umidade de equilíbrio de 12%, sendo este intervalo avaliado no presente trabalho, o aumento da resistência é menos acentuado quando comparado a amostras avaliadas com baixos teores de umidade. (LONGSDON; CALIL JUNIOR, 2002). O Laboratório de Produtos Florestais (FPL, 1955) preconiza que no intervalo de umidade entre madeira verde e 12%, determinadas propriedades são duas vezes maiores, e quando a madeira é seca a 5% de umidade a resistência chega a triplicar.

Este fato pode ser observado segundo estudos conduzidos por Longsdon e Calil Junior (2002), onde a variação de resistência é muito mais acentuada no intervalo entre 0% e 10% de umidade, tornando-se menor no intervalo de 20% e 30% e permanecendo praticamente constante acima de 30%.

Comparando os resultados da variação de resistência em função do teor de umidade, verifica-se que os resultados obtidos neste trabalho assemelham-se ao valor citado por Bendsten (1978), que relata que o acréscimo de resistência em flexão estática é de aproximadamente 35% quando a madeira passa da condição verde para a umidade de equilíbrio de 15% sendo este valor, adotado como variação máxima pela ASTM D-245, e aos valores obtidos por McLain *et al.* (1984) que apresentam uma ampla variabilidade de resultados e relações para resistência e

rigidez em função do teor de umidade médio (10%, 15% e 20%) e da espessura das amostras.

Em relação a influência do teor de umidade sobre a resistência e a elasticidade, verifica-se que o módulo de ruptura é mais sensível a variação da umidade. Este comportamento é justificado pelo fato de que o efeito negativo da umidade sobre o módulo de elasticidade é atenuado por um efeito positivo sobre a inércia da peça, ou seja, o aumento do teor de umidade faz com que o módulo de elasticidade diminua, enquanto que seu momento de inércia aumenta devido o inchamento que a peça de madeira sofre (PLETZ; PURIFICAÇÃO, GAVIOLI, 2006).

8.4.1.4 Influência da posição longitudinal sobre as propriedades de flexão estática

Nas Tabelas 8.5 são apresentados os valores médios do módulo de ruptura ao longo do fuste das espécies estudadas.

Observa-se que a propriedade apresentou tendência de redução ao longo do fuste na maioria das espécies, sendo este fato explicado pelo aumento do percentual da madeira juvenil no sentido base-topo e pela redução do percentual de lenho tardio neste mesmo sentido, exercendo desta forma, influência direta na redução da massa específica, a qual, afeta as propriedades de resistência.

Para a 1ª tora, o maior valor médio foi obtido a partir das espécies *Pinus maximinoi*, *Pinus oocarpa* e *Pinus tecunumanii*, os quais apresentaram diferença estatística significativa somente em relação ao *Pinus chiapensis*. Pode-se verificar ainda que nenhuma das espécies de *Pinus* tropicais apresentou diferença estatística significativa em relação a testemunha.

Para as demais toras (2ª, 3ª e 4ª) não foi evidenciada diferença significativa nas posições, caracterizando matéria prima homogênea entre as espécies avaliadas. Este resultado pode ser considerado excelente, indicando que todas as demais espécies podem ser empregadas juntas, e sem distinção de posição da tora, em utilizações onde a propriedade de maior importância esteja restrita a resistência.

Analisando a variação da resistência ao longo do fuste em cada espécie especificamente, pode-se notar que nenhuma delas apresentou diferença estatística

TABELA 8.5 – INFLUÊNCIA DA POSIÇÃO LONGITUDINAL SOBRE O MÓDULO DE RUPTURA À FLEXÃO ESTÁTICA A 12%

Espécie	1ª Tora (MPa)	2ª Tora (MPa)	3ª Tora (MPa)	4ª Tora (MPa)	<i>p</i>
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	^A 58 ab (18,71)	^A 62 a (32,70)	^A 67 a (21,54)	^A 60 a (26,33)	0,847 ^{ns}
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	^A 61 ab (29,43)	^A 59 a (34,68)	^A 57 a (15,33)	^A 55 a (23,13)	0,929 ^{ns}
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	^A 64 ab (20,03)	^A 65 a (21,76)	^A 62 a (19,94)	^A 59 a (24,37)	0,790 ^{ns}
<i>Pinus chiapensis</i>	^A 58 b (9,80)	^A 62 a (12,63)	^A 58 a (11,13)	^A 67 a (16,35)	0,094 ^{ns}
<i>Pinus maximinoi</i>	^A 74 a (20,80)	^A 67 a (18,02)	^A 64 a (8,49)	^A 65 a (12,93)	0,399 ^{ns}
<i>Pinus oocarpa</i>	^A 74 a (24,55)	^A 73 a (31,09)	^A 71 a (24,67)	^A 63 a (22,42)	0,525 ^{ns}
<i>Pinus tecunumanii</i>	^A 74 a (15,31)	^A 70 a (9,15)	-	^A 68 a (12,69)	0,445 ^{ns}
<i>Pinus taeda</i>	^A 69 ab (26,50)	^A 69 a (11,06)	^A 68 a (14,61)	^A 66 a (18,48)	0,974 ^{ns}
<i>p</i>	0,025*	0,464 ^{ns}	0,314 ^{ns}	0,448 ^{ns}	

Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma coluna (a direita, minúscula e em fonte normal) indicam diferenças do módulo de ruptura na referida tora entre espécies, e são estatisticamente diferentes pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade. Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma linha, (a esquerda, maiúscula e em fonte subscrita) indicam diferenças do módulo de ruptura ao longo do fuste na espécie e são estatisticamente diferentes pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo; valores entre parentes referem-se ao coeficiente de variação das amostras.

significativa no sentido longitudinal, sendo este resultado bastante conveniente na utilização da madeira.

Para o caso específico da espécie *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, o maior valor do módulo de ruptura na 3ª tora está provavelmente associado a massa específica, onde conforme apresentado na Tabela 7.5 do Capítulo 7, esta espécie apresentou uma pequena elevação da massa específica na região de 25% e 50% da altura comercial, onde a tora estava situada, nas cinco árvores amostradas. Já para a espécie *Pinus chiapensis*, o elevado módulo de ruptura da 4ª tora é também justificado pela massa específica, onde conforme Capítulo 7 (Tabela 7.5), a espécie apresentou seu maior valor de massa específica à 75% da altura comercial.

A Tabela 8.6 mostra os resultados médios determinados para o módulo de elasticidade nas diferentes toras ao longo do fuste. Como já verificado para o módulo de ruptura, o módulo de elasticidade também apresentou redução no sentido longitudinal para a maioria das espécies.

Nota-se que para a 1ª tora o maior valor médio foi obtido a partir do *Pinus taeda*, no entanto, não foi constatada diferença estatística entre a testemunha e as demais espécies de *Pinus*.

Para a 2ª tora, o *Pinus taeda* também apresentou o maior valor médio, sendo nesta posição, constatada diferença estatística significativa entre a testemunha e o *Pinus caribaea* var. *caribaea*, espécie que demonstrou o menor valor médio. Entre as espécies de *Pinus* tropicais apenas as espécies *Pinus maximinoi* e *Pinus caribaea* var. *caribaea* diferiram estatisticamente entre si.

Em relação a 3ª tora, o maior e o menor valor médio foi constatado a partir do *Pinus taeda* e *Pinus caribaea* var. *caribaea*, respectivamente, não sendo evidenciada diferença estatística entre as espécies estudadas.

Em relação a 4ª tora, o melhor resultado foi demonstrado pelo *Pinus tecunumanii*, onde este diferiu estatisticamente apenas do *Pinus caribaea* var. *caribaea*. Entre as espécies de *Pinus* tropicais e a testemunha não foi verificada diferença estatística significativa.

Já para a variação longitudinal na espécie, apenas o *Pinus chiapensis* apresentou grande variação na propriedade constatando-se diferença estatística

TABELA 8.6 – INFLUÊNCIA DA POSIÇÃO LONGITUDINAL SOBRE O MÓDULO DE ELASTICIDADE À FLEXÃO ESTÁTICA A 12%

Espécie	1ª Tora (MPa)	2ª Tora (MPa)	3ª Tora (MPa)	4ª Tora (MPa)	<i>p</i>
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	^A 7.387 a (18,17)	^A 6.658 ab (39,40)	^A 6.533 a (32,18)	^A 6.435 ab (27,37)	0,916 ^{ns}
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	^A 6.921 a (41,11)	^A 6.195 b (42,03)	^A 5.778 a (24,65)	^A 5.716 b (29,93)	0,823 ^{ns}
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	^A 6.965 a (35,61)	^A 7.673 ab (28,92)	^A 6.058 a (37,28)	^A 6.523 ab (25,30)	0,476 ^{ns}
<i>Pinus chiapensis</i>	^{AB} 7.306 a (14,21)	^{AB} 7.603 ab (17,62)	^B 6.059 a (28,60)	^A 8.370 ab (12,80)	0,023*
<i>Pinus maximinoi</i>	^A 9.029 a (26,98)	^A 8.787 a (23,70)	^A 7.809 a (11,93)	^A 8.702 a (20,04)	0,798 ^{ns}
<i>Pinus oocarpa</i>	^A 8.822 a (35,62)	^A 8.603 ab (43,89)	^A 8.024 a (32,41)	^A 7.231 ab (33,09)	0,658 ^{ns}
<i>Pinus tecunumanii</i>	^A 9.173 a (21,23)	^A 8.539 ab (14,31)	-	^A 8.443 a (24,19)	0,605 ^{ns}
<i>Pinus taeda</i>	^A 9.509 a (24,75)	^A 8.971 a (16,91)	^A 8.091 a (10,97)	^A 7.955 ab (26,03)	0,580^{ns}
<i>p</i>	0,105 ^{ns}	0,001*	0,282 ^{ns}	0,029*	

Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma coluna (a direita, minúscula e em fonte normal) indicam diferenças do módulo de elasticidade na referida tora entre espécies, e são estatisticamente diferentes pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade. Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma linha, (a esquerda, maiúscula e em fonte subscrita) indicam diferenças no módulo de elasticidade ao longo do fuste na espécie e são estatisticamente diferentes pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo; valores entre parentes referem-se ao coeficiente de variação das amostras.

significativa, sendo este fato, provavelmente justificado pela maior massa específica observada na região (Tabela 7.5, Capítulo 7) e pela presença de madeira de compressão.

8.4.2 Compressão paralela às fibras

8.4.2.1 Compressão paralela às fibras na madeira em condição verde

Na Tabela 8.7 são apresentados os valores médios dos módulos de ruptura e elasticidade obtidos a partir do ensaio de compressão paralela às fibras na condição verde.

TABELA 8.7 – RESULTADOS MÉDIOS DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO PARALELA NA CONDIÇÃO VERDE

Espécie	MOR ¹ (MPa)	MOE ² (MPa)	ME _{verde} (g/cm ³)	ME _{básica} (g/cm ³)	TU ³ (%)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	22 a (31,39)	9.587 ab (46,16)	0,673 d (15,68)	0,421 ab (15,18)	62,31 d (47,63)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	17 c (18,14)	7.339 b (41,93)	0,632 d (18,11)	0,370 c (9,27)	71,90 cd (47,23)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	16 c (23,60)	8.816 ab (41,61)	0,949 ab (13,41)	0,410 bc (14,32)	135,58 a (31,18)
<i>Pinus chiapensis</i>	19 abc (13,22)	8.598 ab (25,75)	0,789 c (21,82)	0,374 c (10,17)	111,32 ab (36,51)
<i>Pinus maximinoi</i>	18 bc (26,18)	10.170 a (37,50)	0,931 ab (13,12)	0,435 ab (15,83)	118,02 ab (32,62)
<i>Pinus oocarpa</i>	22 a (21,87)	9.076 ab (32,67)	0,960 a (13,83)	0,448 ab (13,008)	117,01 ab (31,96)
<i>Pinus tecunumanii</i>	22 a (27,51)	10.899 a (34,63)	0,877 abc (14,12)	0,464 a (14,88)	92,23 bc (39,04)
<i>Pinus taeda</i>	16 c (31,38)	10.046 ab (39,75)	0,843 bc (20,69)	0,417 abc (16,51)	106,99 ab (41,27)
<i>p</i>	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*

¹ Módulo de Ruptura; ² Módulo de Elasticidade; ³ Teor de umidade; Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna são estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade. *Significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo; valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação da amostras.

O maior valor médio para o módulo de ruptura em compressão paralela foi obtido a partir das espécies *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, *Pinus oocarpa*, e *Pinus tecunumanii*. Em relação à testemunha, nenhuma das espécies de *Pinus* tropicais apresentou-se estatisticamente inferior em termos de resistência.

Para o módulo de elasticidade na condição verde, nota-se que o *Pinus tecunumanii* demonstrou o maior valor médio, no entanto, apresenta diferença estatística significativa somente em relação ao *Pinus caribaea* var. *caribaea*. Não foi constatada diferença estatística significativa entre as espécies de *Pinus* tropicais e o *Pinus taeda*.

Assim como no ensaio de flexão estática em estado verde, tanto a massa específica verde quanto a básica, não demonstraram uma relação direta e clara com as propriedades mecânicas.

8.4.2.2 Compressão paralela às fibras em umidade de equilíbrio de 12%

Os resultados obtidos a partir da realização do ensaio de compressão paralela nas amostras em umidade de equilíbrio (12%) podem ser visualizados na Tabela 8.8.

Como se pode verificar, o *Pinus tecunumanii* apresentou o maior valor médio tanto para o módulo de ruptura como para o módulo de elasticidade. Em ambas as propriedades, esta espécie é estatisticamente igual ao *Pinus maximinoi*, ao *Pinus oocarpa* e ao *Pinus taeda*. Considerando os valores apresentados pela espécie testemunha, verifica-se que apenas as variedades *bahamensis* e *caribaea* demonstraram valores médios de módulo de ruptura estatisticamente inferiores.

Nesta condição de ensaio, é evidenciada com maior clareza a influência da massa específica sobre as propriedades mecânicas, e como já abordado, o grau de relação entre estas propriedades será discutido no item referentes às correlações entre propriedades.

Considerando os resultados apresentados por outras pesquisas, Martins (2007) obteve para o ensaio de compressão paralela, módulo de elasticidade de 8.325MPa e resistência de 22,80MPa para o *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, sendo

TABELA 8.8 – RESULTADOS MÉDIOS DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO PARALELA NA CONDIÇÃO SECA A 12%

Espécie	MOR ¹ (MPa)	MOE ² (MPa)	ME _{12%} (g/cm ³)	ME _{básica} (g/cm ³)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	30 de (24,88)	9.189 c (45,88)	0,469 cd (14,85)	0,408 cd (14,57)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	28 e (21,60)	9.447 c (36,42)	0,441 d (12,37)	0,384 d (12,28)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	34 bcd (18,71)	10.956 bc (31,78)	0,498 bc (10,60)	0,435 bc (10,71)
<i>Pinus chiapensis</i>	33 cde (12,72)	10.060 c (22,25)	0,444 d (11,25)	0,389 d (11,27)
<i>Pinus maximinoi</i>	37 abc (20,40)	12.990 ab (39,66)	0,523 ab (13,83)	0,455 ab (13,07)
<i>Pinus oocarpa</i>	39 a (23,00)	12.212 abc (28,26)	0,549 ab (14,30)	0,477 ab (14,25)
<i>Pinus tecunumanii</i>	39 a (22,39)	14.049 a (35,03)	0,560 a (14,54)	0,489 a (14,42)
<i>Pinus taeda</i>	37 abc (19,07)	12.432 abc (28,82)	0,514 abc (13,33)	0,448 abc (13,23)
<i>p</i>	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*

¹ Módulo de Ruptura; ² Módulo de Elasticidade. Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna são estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. *Significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo; valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação da amostras.

estes resultados ligeiramente inferiores aos obtidos neste trabalho tanto para as condições de ensaio verde e seca a 12%. Uma comparação mais aprofundada em relação a esta literatura, não é possível de ser efetuada em função de que este autor avaliou material obtido a partir de lotes comerciais, não se conhecendo com isso, procedência e idade. Da mesma forma, pode-se citar Longsdon e Calil Junior (2002) que avaliando amostras de *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, obtiveram para teor de umidade acima de 28% uma resistência a compressão paralela de aproximadamente 15 MPa, e com a redução do teor de umidade para 12% a resistência passou para aproximadamente 30 MPa. Em relação ao módulo de elasticidade neste mesmo ensaio, tais autores apresentam resultados de aproximadamente 5.000 MPa e 7.000 MPa também para condições verde e seca a 12%. Em relação aos resultados citados por estes autores, pode-se dizer, que os resultados são similares, tendo em

vista, as possíveis diferença de idade, massa específica e procedência do material avaliado.

Para a espécie *Pinus caribaea* var. *caribaea*, Banks (1977) descreve valor médio de resistência a compressão de 41,40 MPa para amostras avaliadas em umidade de equilíbrio de 12%, sendo este valor, superior ao determinado neste trabalho (28,17 MPa), o qual pode ser explicado em função da idade e conseqüentemente da massa específica, já que este autor avaliou árvores com 26 anos, cuja massa específica aparente a 12% foi de 0,546 g/cm³.

Em relação ao *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, Moraes Neto *et al.*(2009) avaliando procedências com 23 anos no Distrito Federal, obtiveram resistência a compressão de 16,5 MPa e 32 MPa para ensaios úmido e seco, respectivamente, sendo bastante similares aos obtidos nesta pesquisa. Já Klock (1989) avaliando esta espécie a partir de plantios de 14 e 20 anos, provenientes da região de Agudos – SP, obteve valores médios de 19,14 MPa e 6.064,09 MPa para módulo de ruptura e módulo de elasticidade, respectivamente, em ensaio úmido nas árvores com 14 anos. Para os indivíduos de 20 anos, também em condição úmida, este autor obteve módulo de ruptura de 22,87 MPa e módulo de elasticidade de 8.272,15 MPa. Comparando estes resultados com os valores médios do ensaio verde efetuado neste trabalho, observa-se os valores do módulo de ruptura, tanto para a idade de 14 anos quanto para a de 20 anos foram superiores aos valores obtidos para indivíduos avaliados neste trabalho, com 18 anos. Já em relação ao módulo de elasticidade, os resultados obtidos nesta pesquisa são superiores aos valores determinados por Klock (1989). Para os ensaios conduzidos em umidade de equilíbrio, observa-se que Klock (1989) obteve 29,53 MPa e 37,32 MPa para módulo de ruptura, e 7.241,77 MPa e 9.958,56 MPa para módulo de elasticidade, para as idades de 14 e 20 anos, respectivamente. Em relação aos resultados descritos neste trabalho observa módulo de ruptura intermediário entre os plantios de 14 e 20 anos, e módulo de elasticidade superior.

Ainda em comparação do *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, Banks (1977) obteve resistência a compressão de 40,50 MPa para plantios com 24 e 25 anos na África do Sul, sendo este valor superior ao deste trabalho.

Em relação aos valores de referência descritos na literatura para o *Pinus maximinoi*, verifica-se que os resultados apresentados por Klock (2000), de 24,12 MPa para módulo de ruptura e 6.867,10 MPa para módulo de elasticidade para árvores com 10 anos, foram inferiores aos resultados de 37,12 MPa e 12.990,40 MPa para módulo de ruptura e elasticidade, respectivamente, para as árvores com 18 anos, aqui estudadas. Esta diferença de valores é atribuída exclusivamente à diferença de idade e suas implicações, já que as árvores utilizadas nos dois estudos são provenientes do mesmo sítio de crescimento.

Para o *Pinus oocarpa*, Klock (1989) apresenta valores de 20,98 MPa e 24,42 MPa para módulo de ruptura, em condição verde e em árvores com 14 e 18 anos de idade, respectivamente, e para o módulo de elasticidade, este mesmo autor descreve valores de 6.874,95 MPa e 8.328,64 MPa também para 14 e 18 anos. Comparando estes valores com os resultados obtidos neste trabalho na condição verde, nota-se módulo de ruptura superior quando comparado com 14 anos, e inferior quando comparado com a mesma idade (18 anos). Para o módulo de elasticidade nesta mesma condição, são observados valores médios superiores para ambas as idades. Em referência aos valores médios descritos por este mesmo autor para as amostras em umidade de equilíbrio, verifica-se módulo de ruptura de 34,76 MPa e 38,29 MPa para 14 e 18 anos e módulo de elasticidade de 7.893,32 MPa e 9.730,16 MPa também para as respectivas idades. Comparando com os resultados determinados neste trabalho, é possível constatar que tanto o módulo de ruptura como o de elasticidade das duas idades avaliadas pelo referido autor são superiores.

Em relação ao *Pinus tecunumanii*, Moura, Vale e Oliveira (2005) obtiveram 31 MPa para resistência a compressão a 12% em árvores com 18 anos de idade provenientes da região de Planaltina – DF, sendo este valor inferior a resistência obtida neste trabalho, para amostras de 18 anos também. Já Moraes Neto, Teles e Rodrigues (2009) avaliando cinco procedências com 23 anos também em Planaltina – DF, obtiveram valores médios de resistência a compressão de 18 MPa para ensaio em estado úmido e 36 MPa em amostras secas a 12%, sendo estes resultados similares aos obtidos aqui para as duas condições de umidade comparadas.

Para a espécie *Pinus taeda*, a literatura indica valores de compressão paralela a 12% de umidade de 24,11 MPa, 29,64 MPa e 36,02 MPa para plantios

com idades de 9, 13 e 20 anos, sendo os valores de 9 e 13 anos obviamente inferiores em virtude da menor idade e conseqüentemente da menor massa específica, e o valor médio para 20 anos pode ser considerado similar ao deste trabalho (OLIVEIRA *et al.*, 2006). Em relação aos valores médios obtidos por Klock (2000) o qual utilizou o mesmo plantio em seu experimento, no entanto quando as árvores apresentavam 10 anos de idade, verifica-se que este autor obteve valores de 24,80 MPa e 6.967,20 MPa para módulos de ruptura e elasticidade, respectivamente, sendo estes valores inferiores e caracterizando um aumento aproximado na resistência de 33% e na rigidez de 44%, ao longo de 8 anos.

Considerando os valores citados por Bortoletto Junior (1999) que obteve módulo de ruptura de 24,90 MPa e módulo de elasticidade de 9.000 MPa, para plantios de 23 anos, e por Santini, Haselein e Gatto (2000) que encontraram módulo de ruptura de 28,54 MPa e módulo de elasticidade de 8.591 MPa a partir de plantios com 13 anos de idade localizados em Quedas do Iguaçu – PR, e por Brand *et al.* (2004) que determinaram resistência a compressão de 26,74 MPa para plantio com 9 anos na região de Santa Catarina, verifica-se também, que os resultados deste trabalho são superiores aos relatados por estes autores.

Comparando os resultados encontrados no ensaio de compressão paralela para as espécies de *Pinus* tropicais e os resultados descritos na literatura para as espécies comumente utilizadas nos processos industriais, verifica-se que os valores médios apresentam-se similares em algumas espécies e superiores em outras aos resultados apresentados por Oliveira *et al.* (2006) que obtiveram valores de módulo de ruptura entre 24,11 MPa e 36,02 MPa para *Pinus taeda*, Bortolletto Junior (1999) que encontrou resistência a compressão de 24,90 MPa e módulo de elasticidade de 9.000 MPa também para *Pinus taeda*, Brand *et al.* (2004) que obtiveram valor médio de 26,74 MPa e aos relatados por Serpa *et al.* (2003) que obtiveram valores aproximados de resistência a compressão entre 25 MPa e 45 MPa para *Pinus elliottii*, e aos de Santini, Haselein e Gatto (2000) que encontraram módulo de ruptura de 28,64 MPa e módulo de elasticidade de 7.211 MPa, indicando com isso, que estas espécies apresentam potencialidade para utilização, seja em forma de substituição ou como matéria prima complementar ao *Pinus taeda* e ao *Pinus elliottii*.

8.4.2.3 Influência do teor de umidade sobre as propriedades de compressão paralela às fibras

A influência do teor de umidade sobre as propriedades de compressão paralela às fibras pode ser observada na Tabela 8.9.

TABELA 8.9 – INFLUÊNCIA DO TEOR DE UMIDADE SOBRE AS PROPRIEDADES DE COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS

Espécie	$\Delta\%$ MOR¹ PSF a 12%	Relação MOR 12%/verde	$\Delta\%$ MOE² PSF a 12%	Relação MOE 12%/verde
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	1,38 (24,84)	1,36	-	-
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	2,39 (43,02)	1,65	1,25 (22,50)	1,29
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	3,14 (56,52)	2,13	1,06 (19,08)	1,24
<i>Pinus chiapensis</i>	2,56 (46,08)	1,74	0,96 (17,28)	1,17
<i>Pinus maximinoi</i>	3,21 (57,78)	2,06	1,22 (21,96)	1,28
<i>Pinus oocarpa</i>	2,63 (47,34)	1,77	1,49 (26,82)	1,35
<i>Pinus tecunumanii</i>	2,80 (50,40)	1,86	1,25 (22,50)	1,29
<i>Pinus taeda</i>	3,57 (64,26)	2,31	1,04 (18,72)	1,24

¹Variação % no Módulo de ruptura a cada 1% de variação no teor de umidade; ²Variação % no Módulo de elasticidade a cada 1% de variação no teor de umidade; Valores entre parênteses referem-se ao acréscimo de resistência e rigidez quando a madeira passa do estado verde (PSF) para 12% de umidade; PSF: 30%.

Os resultados mostram que a variação das propriedades de resistência e rigidez à compressão paralela são mais sensíveis a umidade quando comparadas com o ensaio de flexão, para a maioria das espécies, conforme relatado por Oliveira (2007).

Para o módulo de ruptura, a espécie que apresentou o maior incremento em resistência foi o *Pinus taeda*, com 64,26% quando a madeira passou de seu estado verde para umidade de equilíbrio de 12%, o que representa uma taxa de variação de 3,57% a cada 1% de umidade. O menor incremento em resistência foi observado no *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, com aumento de 24,84% entre as duas condições avaliadas.

Em relação ao módulo de elasticidade, o maior incremento em rigidez foi obtido a partir do *Pinus oocarpa* com 26,82%, e a menor variação foi observada no *Pinus chiapensis*, com aumento de 17,28% quando a madeira passou de condição verde para 12%.

Outro fato a ser observado para a variação do módulo de elasticidade, diz respeito a espécie *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, onde a propriedade determinada na condição verde foi superior a condição seca a 12%. Embora este resultado seja contraditório, a literatura e a sua explicação necessite de uma avaliação mais apurada e minuciosa, vale ressaltar que resultados similares foram também encontrados por Moraes Neto *et al.* (2009), os quais estudando as propriedades mecânicas de diferentes procedências de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, obtiveram para a procedência Los Limones módulo de elasticidade na condição umidade superior a condição seca.

8.4.2.4 Influência da posição longitudinal sobre as propriedades de compressão paralela às fibras

Na Tabela 8.10 são apresentados os valores médios do módulo de ruptura à compressão paralela para diferentes posições ao longo do fuste.

Para a 1ª tora, os resultados demonstram que o maior valor médio foi obtido a partir do *Pinus tecunumanii*, o qual apresenta diferença estatística significativa em relação ao *Pinus caribaea* var. *caribaea* e ao *Pinus chiapensis*. Entre as espécies de *Pinus* tropicais e a testemunha não foi constatada diferença estatística significativa.

TABELA 8.10 – INFLUÊNCIA DA POSIÇÃO LONGITUDINAL SOBRE O MÓDULO DE RUPTURA À COMPRESSÃO PARALELA AS FIBRAS A 12%

Espécie	1ª Tora (MPa)	2ª Tora (MPa)	3ª Tora (MPa)	4ª Tora (MPa)	<i>p</i>
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	^A 32 ab (17,02)	^A 30 b (25,52)	^A 30 b (24,94)	^A 30 ab (19,82)	0,970 ^{ns}
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	^A 31 b (45,62)	^A 28 b (24,48)	^A 28 b (17,28)	^A 28 b (18,74)	0,930 ^{ns}
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	^A 32 ab (11,96)	^A 36 ab (20,43)	^A 32 ab (15,34)	^A 31 ab (11,12)	0,519 ^{ns}
<i>Pinus chiapensis</i>	^B 31 b (8,04)	^B 34 ab (10,05)	^B 29 b (5,45)	^A 39 a (9,76)	0,000*
<i>Pinus maximinoi</i>	^A 38 ab (17,17)	^A 37 ab (18,87)	^A 36 ab (18,63)	^A 33 ab (15,24)	0,894 ^{ns}
<i>Pinus oocarpa</i>	^A 41 ab (18,47)	^A 41 a (28,28)	^A 38 a (22,73)	^A 37 ab (24,57)	0,847 ^{ns}
<i>Pinus tecunumanii</i>	^A 42 a (21,97)	^A 40 ab (18,17)	^A 36 a (15,03)	^A 36 ab (23,29)	0,300 ^{ns}
<i>Pinus taeda</i>	^A 39 ab (22,73)	^A 37 ab (15,59)	^A 37 a (13,18)	^A 36 ab (11,11)	0,924^{ns}
<i>p</i>	0,002*	0,003 *	0,026 *	0,012 *	

Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma coluna (a direita, minúscula e em fonte normal) indicam diferenças do módulo de ruptura na referida tora entre espécies, e são estatisticamente diferentes pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade. Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma linha, (a esquerda, maiúscula e em fonte subscrita) indicam diferenças no módulo de ruptura ao longo do fuste na espécie e são estatisticamente diferentes pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo; valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras.

Em relação aos resultados determinados para 2ª tora, nota-se que a maior resistência foi demonstrada pelo *Pinus oocarpa*, sendo este estatisticamente diferente das variedades *bahamensis* e *caribaea*. Nesta posição também não foi constatada diferença estatística significativa entre as espécies de *Pinus* tropicais e a testemunha.

Para a 3ª tora verifica-se a ocorrência de grupos homogêneos distintos, onde o *Pinus taeda*, o *Pinus maximinoi* e o *Pinus oocarpa* constituem o grupo de maior resistência, e as espécies *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, *Pinus caribaea* var. *caribaea* e *Pinus chiapensis* formam o grupo das toras de menor resistência. As espécies *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus maximinoi*, participam de ambos os grupos.

Considerando a 4ª tora, o maior valor médio é apresentado pelo *Pinus chiapensis*, onde em relação aos *Pinus* tropicais apresenta estatística significativa somente em relação ao *Pinus caribaea* var. *caribaea*. Para esta posição de tora, não foram constatadas diferenças estatísticas significativas entre as espécies experimentalmente estudadas e a testemunha.

Avaliando a variação longitudinal em cada espécie, é possível notar a tendência do decréscimo da resistência ao longo do fuste para a maioria das espécies, sendo este fato explicado pela redução gradativa da massa específica, a qual possui relação direta com as propriedades mecânicas. Pode-se observar ainda, que a espécie *Pinus chiapensis* apresentou um modelo de variação de resistência diferenciado, onde a posição relativa à 4ª tora demonstrou o maior módulo de ruptura, podendo este fato, estar associado à maior massa específica na região, quando comparada com outras posições (Tabela 7.5, Capítulo 7) e à presença de madeira de compressão, gerada principalmente pela exposição a ventos e tempestades (ALBINO; TOMAZELLO FILHO, 1985; VALE; BRASIL; MARTINS, 1999), a qual possui propriedades bem distintas do lenho normal que refletem consideravelmente em sua qualidade, como por exemplo, maior resistência a compressão paralela e perpendicular (BURGER; RICHTER, 1991).

Com exceção do *Pinus chiapensis*, nenhuma outra espécie demonstrou diferença estatística significativa em relação a posição no fuste, evidenciando desta forma, homogeneidade de propriedades.

Na Tabela 8.11 pode ser verificada a variação longitudinal do módulo de elasticidade para as espécies propostas no estudo.

Para a 1ª tora, nota-se que o *Pinus tecunumanii* apresentou o maior valor médio, no entanto, difere estatisticamente somente do *Pinus chiapensis*. Entre as espécies de *Pinus* tropicais e o *Pinus taeda* não foi constatada diferença estatística significativa. Para as demais toras (2ª, 3ª e 4ª) não foi verificada diferença estatística entre as espécies, o que torna este resultado promissor, ampliando ainda mais o volume de matéria prima.

Em relação a variação na espécie, verifica-se que exceto o *Pinus chiapensis*, todas as demais espécies não apresentaram grandes diferenças de módulo de elasticidade entre as toras, a fim de ser constatada diferença estatística significativa.

Comparando os resultados da variação das propriedades mecânicas com outros resultados encontrados na literatura, verifica-se que situação similar a do *Pinus chiapensis* foi encontrada por Almeida *et al.* (2009), que estudando as características físicas e mecânicas do *Acrocarpus fraxinifolius* ao longo do fuste também obtiveram maiores módulos de elasticidade (flexão e compressão) e maior resistência a compressão para a 2ª tora, entre as três toras avaliadas (1ª, 2ª e 3ª).

TABELA 8.11 – INFLUÊNCIA DA POSIÇÃO LONGITUDINAL SOBRE O MÓDULO DE ELASTICIDADE À COMPRESSÃO PARALELA AS FIBRAS A 12%

Espécie	1ª Tora (MPa)	2ª Tora (MPa)	3ª Tora (MPa)	4ª Tora (MPa)	<i>p</i>
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	^A 10.548 ab (22,21)	^A 9.747 a (25,13)	^A 9.433 a (28,97)	^A 8.215 a (27,45)	0,856 ^{ns}
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	^A 10.198 ab (45,36)	^A 9.941 a (31,58)	^A 10.394 a (34,31)	^A 9.381 a (35,01)	0,972 ^{ns}
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	^A 10.639 ab (18,51)	^A 12.069 a (29,39)	^A 9.623 a (13,33)	^A 9.196 a (20,61)	0,183 ^{ns}
<i>Pinus chiapensis</i>	^B 9.088 b (17,45)	^A 11.588 a (31,76)	^{AB} 9.519 a (27,45)	^A 12.365 a (37,38)	0,001*
<i>Pinus maximinoi</i>	^A 12.262 ab (45,36)	^A 13.035 a (31,58)	^A 11.501 a (34,31)	^A 11.222 a (35,01)	0,905 ^{ns}
<i>Pinus oocarpa</i>	^A 12.576 ab (17,45)	^A 12.502 a (31,76)	^A 12.865 a (27,45)	^A 11.387 a (37,38)	0,895 ^{ns}
<i>Pinus tecunumanii</i>	^A 15.560 a (30,76)	^A 13.085 a (42,87)	^A 14.507 a (32,04)	^A 12.816 a (37,06)	0,526 ^{ns}
<i>Pinus taeda</i>	^A 13.989 ab (19,94)	^A 12.359 a (30,68)	^A 13.300 a (12,54)	^A 12.463 a (12,81)	0,821 ^{ns}
<i>p</i>	0,105 ^{ns}	0,417*	0,268 ^{ns}	0,071*	

Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma coluna (a direita, minúscula e em fonte normal) indicam diferenças do módulo de elasticidade na referida tora entre espécies, e são estatisticamente diferentes pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade. Médias seguidas letras diferentes em uma mesma linha, (a esquerda, maiúscula e em fonte subscrita) indicam diferenças no módulo de elasticidade ao longo do fuste na espécie e são estatisticamente diferentes pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo; valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras.

8.4.3 Cisalhamento

8.4.3.1 Cisalhamento na madeira em condição verde

Na Tabela 8.12 são apresentados os valores médios determinados para a propriedade de resistência ao cisalhamento na condição verde.

TABELA 8.12 – RESULTADOS MÉDIOS DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO TANGENCIAL NA CONDIÇÃO VERDE

Espécie	Cisalhamento (MPa)	ME _{verde} (g/cm ³)	ME _{básica} (g/cm ³)	TU (%)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	7,07 a (18,45)	0,921 a (7,87)	0,391 d (15,94)	140,77 a (27,19)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	6,53 b (11,75)	0,906 a (8,65)	0,357 e (11,97)	156,72 a (20,58)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	6,07 cd (20,92)	0,654 b (21,86)	0,395 cd (14,65)	68,97 b (65,61)
<i>Pinus chiapensis</i>	5,94 d (15,76)	0,517 c (26,72)	0,356 e (9,76)	45,65 cd (85,19)
<i>Pinus maximinoi</i>	6,83 ab (16,07)	0,652 b (20,12)	0,422 bc (12,55)	55,91 bcd (60,14)
<i>Pinus oocarpa</i>	6,50 bc (20,07)	0,622 b (24,25)	0,428 b (11,83)	45,47 cd (67,97)
<i>Pinus tecunumanii</i>	7,07 a (16,97)	0,631 b (19,13)	0,461 a (11,89)	38,09 d (75,79)
<i>Pinus taeda</i>	5,58 d (22,79)	0,666 b (19,58)	0,411 bcd (13,37)	64,69 bc (59,52)
<i>p</i>	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*

Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna são estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. *Significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo; valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras.

Os resultados médios demonstram que as espécies que apresentaram a maior resistência média aos esforços de cisalhamento foram o *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, o *Pinus tecunumanii* e o *Pinus maximinoi*, as quais não apresentam

diferença estatística significativa entre si. As espécies *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa* formam um grupo intermediário de resistência ao cisalhamento e as espécies *Pinus chiapensis* e *Pinus taeda* compõem um grupo inferior. Ainda em relação a estes resultados, observa-se que nenhuma das espécies experimentais apresentou resistência ao cisalhamento inferior à espécie utilizada como testemunha.

8.4.3.2 Cisalhamento na condição de umidade de equilíbrio de 12%

Na Tabela 8.13 são apresentados os valores médios obtidos a partir do ensaio de cisalhamento na condição seca a 12% de umidade.

TABELA 8.13 – RESULTADOS MÉDIOS DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO TANGENCIAL NA CONDIÇÃO SECA A 12%

Espécie	Cisalhamento (MPa)	ME _{12%} (g/cm ³)	ME _{básica} (g/cm ³)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	10,64 bc (15,21)	0,493 d (15,02)	0,428 d (14,64)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	9,10 c (10,61)	0,431 e (11,18)	0,377 e (11,46)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	10,49 bc (19,66)	0,507 cd (11,26)	0,442 cd (11,15)
<i>Pinus chiapensis</i>	8,72 c (19,81)	0,435 e (9,74)	0,384 e (9,65)
<i>Pinus maximinoi</i>	11,37 ab (19,21)	0,536 bc (15,70)	0,466 bc (13,89)
<i>Pinus oocarpa</i>	11,95 a (15,89)	0,564 ab (13,02)	0,492 ab (12,95)
<i>Pinus tecunumanii</i>	11,42 ab (16,85)	0,591 a (12,81)	0,515 a (12,56)
<i>Pinus taeda</i>	10,52 bc (14,57)	0,533 bc (14,99)	0,461 bc (15,00)
<i>p</i>	0,000*	0,000*	0,000*

Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna são estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. *Significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo; valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras.

Conforme pode ser observado, o *Pinus oocarpa* apresentou o maior valor médio, sendo este estatisticamente igual às espécies *Pinus tecunumanii* e *Pinus maximinoi*. Os menores valores médios foram obtidos a partir das espécies *Pinus chiapensis* e *Pinus caribaea* var. *caribaea*, as quais formam um grupo inferior de resistência, juntamente com o *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e o *Pinus taeda* e em virtude destes resultados podem ser consideradas as espécies menos aptas para utilizações em construções em geral, as quais estão sujeitas aos esforços de cisalhamento. Não foi evidenciado espécie ou grupo homogêneo estatisticamente inferior ao *Pinus taeda*.

Em relação a resultados disponíveis na literatura, para o *Pinus caribaea* var. *bahamensis* Martins (2007) apresenta valor de resistência ao cisalhamento de 3,40 MPa para amostras com teor de umidade acima de 20%, sendo este valor inferior ao obtido neste trabalho para o ensaio úmido, que foi de 7,07 MPa. Longsdon e Calil Junior (2002) obtiveram resultados aproximados de 4,5 MPa e 8,0 MPa para condições verde e seca, respectivamente, sendo estes valores, também inferiores a este estudo.

Para o *Pinus caribaea* var. *caribaea*, Banks (1997) avaliando a espécie na África do Sul com 26 anos, obteve resistência ao cisalhamento de 11,10 MPa em amostras a 12%, sendo este resultado superior ao deste trabalho, provavelmente pela diferença de idade, a qual ocasiona um aumento na massa específica.

Considerando a espécie *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, Moraes Neto *et al.* (2009) encontraram resistência média ao cisalhamento de 4,90 MPa e 9,50 MPa, em ensaio úmido e seco a 12% respectivamente, para cinco procedências com 23 anos na região de Planaltina – DF, sendo tais resultados, mesmo com maior idade, inferiores aos determinados nesta pesquisa, cujos resultados foram de 6,07 MPa e 10,49 MPa, para condição umidade e seca, respectivamente. Já em relação aos valores mencionados por Banks (1977) evidencia-se que os resultados obtidos por este autor para amostras a 12% foram de 9,90 MPa e 10,00 MPa, para árvores com 24 e 25 anos respectivamente, crescendo na África do Sul, sendo tais resultados, similares ao deste estudo.

Em relação ao *Pinus maximinoi*, Klock (2000) descreve valor médio de 10,04 MPa para ensaio realizado a 12% a partir de árvores com 10 anos de idade, sendo

este valor inferior ao determinado nesta pesquisa para árvores com 18 anos, as quais são provenientes do mesmo sítio de crescimento.

Pesquisas realizadas com o *Pinus tecunumanii* descrevem resultados para a propriedade de cisalhamento de 4,9 MPa e 9,1 MPa para condição úmida e seca a 12%, em amostras oriundas de cinco procedências com 23 anos de idade da região de Planaltina – DF (MORAES NETO; TELES; RODRIGUES, 2009). É possível constatar a partir destes resultados, que os valores obtidos neste trabalho são ligeiramente superiores, mesmo com 18 anos de idade, podendo esta diferença ser justificada pelas condições de crescimento. Já em relação aos valores médios obtidos por Moura, Vale e Oliveira (2005) para a condição de ensaio seco a 12% e também com 18 anos, verifica-se que o resultado médio desta pesquisa é também superior, podendo, da mesma forma, estar associado ao fator acima mencionado.

Para o *Pinus taeda*, a literatura apresenta resultados médios de 8,53 MPa a partir de plantios com 13 anos de idade localizados na região de Quedas do Iguaçu – PR, segundo Santini, Haselein e Gatto (2000); 11,18 MPa a partir de plantios com 23 anos provenientes de Guarapuava – PR (BORTOLLETO JUNIOR, 1999); 3,92 MPa e 5,92 MPa para *Pinus taeda* com teor de umidade verde e entre 10% e 20% de umidade, respectivamente (e em sentido radial) (LUCAS FILHO, 1997), podendo-se observar que todos os resultados acima relacionados são inferiores ao determinados nesta pesquisa. Já Melchiorretto e Eleotério (2003) avaliando a qualidade da madeira desta espécie a partir de plantios localizados em Santa Catarina, com 25 anos de idade, obtiveram valor médio de 11,90 MPa, sendo este resultado superior ao desta pesquisa, sendo justificado muito provavelmente pela idade superior, a qual constitui madeira mais homogênea.

Em comparação geral dos resultados obtidos para as espécies de *Pinus* tropicais e as espécies de *Pinus* comumente utilizadas pela indústria madeireira, verifica-se que as espécies utilizadas neste trabalho apresentam resistência ao cisalhamento compatíveis e em alguns casos, superiores às espécies *Pinus taeda*, cujos valores são de 8,53 MPa (SANTINI; HASELEIN; GATTO, 2000); 11,18 MPa (BORTOLLETO JUNIOR, 1999); 11,90 MPa (MELCHIORETTO; ELEOTÉRIO, 2003), 9,16 MPa (BRAND *et al.*, 2004) e *Pinus elliottii* com 6,37 MPa (SANTINI; HASELEIN; GATTO, 2000); 12,10 MPa (MELCHIORETTO; ELEOTÉRIO, 2003), caracterizando como já mencionado anteriormente, matéria prima substituta às espécies

tradicionalmente utilizadas, e suprimento complementar em diversas aplicações e processos industriais.

8.4.3.3 Influência do teor de umidade sobre a resistência ao cisalhamento

A magnitude da influência do teor de umidade sobre a resistência ao cisalhamento é apresentada na Tabela 8.14.

TABELA 8.14 – EFEITO DO TEOR DE UMIDADE SOBRE A RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO

Espécie	$\Delta\%$ Cisalhamento ¹	Relação
	PSF a 12%	Cisalhamento 12%/verde
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	1,76 (31,68)	1,50
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	1,71 (30,78)	1,39
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	2,14 (38,52)	1,73
<i>Pinus chiapensis</i>	1,25 (22,50)	1,47
<i>Pinus maximinoi</i>	1,92 (34,56)	1,66
<i>Pinus oocarpa</i>	2,09 (37,62)	1,84
<i>Pinus tecunumanii</i>	1,33 (23,94)	1,62
<i>Pinus taeda</i>	2,53 (45,54)	1,89

¹ Variação % na resistência ao cisalhamento a cada 1% de variação no teor de umidade; valores entre parênteses referem-se ao acréscimo de resistência quando a madeira passa do estado verde (PSF) para 12% de umidade; PSF: 30%.

A espécie que apresentou o maior aumento da resistência ao cisalhamento, com a redução do teor de umidade do estado verde para 12% foi o *Pinus taeda* com 45,54%, representando uma taxa média de 2,53% a cada 1% de variação do teor de

umidade. O menor incremento foi verificado a partir do *Pinus chiapensis*, com taxa média de 1,25% a cada 1% de umidade.

Em comparação com o resultado indicado pelo FPL (1955) para correção da resistência em função da umidade (3% na variação da resistência a cada 1% de variação na umidade), verifica-se que o *Pinus taeda* foi a espécie que mais se aproximou desta taxa, onde o fator de correção mais adequado para a maioria das espécies fica em torno de 2%.

8.4.3.4 Influência da posição longitudinal sobre à resistência ao cisalhamento

A Tabela 8.15 apresenta o comportamento da resistência ao cisalhamento de acordo com a variação longitudinal, onde se pode notar a redução gradativa da propriedade ao longo do fuste para a maioria das espécies. Este resultado como justificado anteriormente para as demais propriedades mecânicas, muito provavelmente está associado a redução da massa específica, que também diminui no sentido base-topo e que é diretamente proporcional a resistência.

Para a primeira tora, nota-se grande variabilidade da resistência ao cisalhamento de acordo com a espécie, sendo gerados diversos grupos de afinidade. O maior valor médio foi apresentado pelo *Pinus maximinoi*, o qual é estatisticamente igual ao *Pinus oocarpa*, ao *Pinus tecunumanii* e ao *Pinus taeda*, formando um grupo de resistência superior. Já o menor resultado médio foi demonstrado pelo *Pinus chiapensis*, o qual juntamente com as três variedades do *Pinus caribaea* formam um grupo de resistência inferior.

Na 2ª tora, observa-se que o *Pinus oocarpa* demonstrou o maior valor médio, diferindo estatisticamente do *Pinus caribaea* var. *caribaea* e do *Pinus chiapensis*, os quais apresentam os menores valores de cisalhamento e também são estatisticamente diferentes das demais espécies de *Pinus* tropicais. Nesta posição não foi evidenciada espécie com valor médio estatisticamente inferior ao *Pinus taeda*.

Para a 3ª tora, verifica-se também que o *Pinus oocarpa* apresentou o maior valor médio de resistência ao cisalhamento, no entanto não apresenta diferença

TABELA 8.15 – EFEITO DA POSIÇÃO LONGITUDINAL SOBRE A RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO A 12% DE UMIDADE

Espécie	1ª Tora (MPa)	2ª Tora (MPa)	3ª Tora (MPa)	4ª Tora (MPa)	p
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	^B 9,88 cd (8,38)	^A 11,00 a (12,73)	^A 11,22 a (11,29)	^B 10,00 b (13,82)	0,001 *
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	^A 10,60 bcd (8,35)	^B 9,45 b (9,89)	^B 9,41 b (7,49)	^B 9,40 b (6,06)	0,001 *
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	^A 11,02 bcd (6,35)	^A 10,96 a (11,32)	^A 10,59 ab (5,17)	^A 10,35 ab (7,96)	0,699 ^{ns}
<i>Pinus chiapensis</i>	^{AB} 9,09 d (18,95)	^A 9,30 b (19,95)	^B 7,63 c (11,60)	^A 9,99 b (18,96)	0,005 *
<i>Pinus maximinoi</i>	^A 12,79 a (19,88)	^B 10,80 a (14,19)	^B 10,25 ab (9,84)	^B 10,11 ab (11,09)	0,000 *
<i>Pinus oocarpa</i>	^A 12,46 ab (14,57)	^A 12,59 a (10,22)	^A 11,52 a (13,36)	^A 11,59 a (15,46)	0,230 ^{ns}
<i>Pinus tecunumanii</i>	^A 11,94 ab (15,54)	^{AB} 11,15 a (9,73)	^{AB} 11,04 a (18,53)	^B 10,04 ab (10,13)	0,019*
<i>Pinus taeda</i>	^A 11,76 abc (14,95)	^B 10,38 ab (8,06)	^B 9,71 ab (10,16)	^B 10,23 ab (8,55)	0,004 *
p	0,105 ^{ns}	0,000*	0,000*	0,005*	

Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma coluna (a direita, minúscula e em fonte normal) indicam diferenças da resistência ao cisalhamento na referida tora entre espécies, e são estatisticamente diferentes pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade. Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma linha, (a esquerda, maiúscula e em fonte subscrita) indicam diferenças na resistência ao cisalhamento ao longo do fuste na espécie e são estatisticamente diferentes pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo; valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras.

estatística significativa em relação a todas as demais espécies, exceto o *Pinus caribaea* var. *caribaea* e o *Pinus chiapensis*. O *Pinus chiapensis* foi a espécie com a menor resistência sendo a única a diferir estatisticamente da testemunha.

Os resultados médios obtidos para a 4ª tora, demonstram que a maior e menor resistência ao cisalhamento foram apresentados pelo *Pinus oocarpa* e pelo *Pinus caribaea* var. *caribaea*, respectivamente. Comparando as resistências entre espécies nesta posição, verifica-se que nenhuma das espécies avaliadas é estatisticamente inferior a testemunha.

Avaliando a variação da resistência ao cisalhamento em cada espécie, é possível verificar que nem todas elas apresentam o decréscimo da propriedade ao longo do fuste, modelo mais comum de variação para o gênero *Pinus*. As espécies que apresentaram esta tendência foram o *Pinus caribaea* var. *caribaea*, o *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, o *Pinus maximinoi*, e o *Pinus tecunumanii*, demonstrando maior homogeneidade de resistência ao longo do fuste. Vale ressaltar ainda, assim como nas propriedades anteriormente discutidas, que o *Pinus chiapensis* novamente apresentou a maior resistência na 4ª tora, efeito este, também explicado pela maior massa específica na região.

8.4.4 Dureza Janka

8.4.4.1 Dureza Janka na madeira em condição verde

Na Tabela 8.16 são apresentados os resultados médios da dureza Janka na condição verde, obtidos através dos valores coletados nas três faces avaliadas.

De acordo com a tabela acima, pode-se notar que o *Pinus tecunumanii* apresentou o maior valor para a propriedade em questão, formando um grupo superior de dureza juntamente com o *Pinus caribaea* var. *bahamensis* e o *Pinus oocarpa*. O menor valor médio foi obtido a partir do *Pinus chiapensis*, o qual forma uma classe de dureza inferior juntamente com as espécies *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda*. Para esta

TABELA 8.16 – RESULTADOS MÉDIOS DE DUREZA JANKA NA CONDIÇÃO VERDE

Espécie	Dureza Janka (N)	ME _{12%} (g/cm ³)	ME _{básica} (g/cm ³)	TU (%)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	2.204 ab (29,28)	0,884 a (8,97)	0,405 bcd (13,28)	121,68 a (26,84)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	1.787 cd (23,23)	0,849 abc (8,93)	0,370 de (11,71)	131,52 a (20,76)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	1.772 cd (28,77)	0,801 bc (15,38)	0,389 cde (12,71)	108,60 abc (31,84)
<i>Pinus chiapensis</i>	1.627 d (23,47)	0,659 d (17,97)	0,360 e (9,81)	84,28 d (39,31)
<i>Pinus maximinoi</i>	1.936 bcd (20,16)	0,872 ab (13,71)	0,423 bc (12,68)	109,33 ab (35,46)
<i>Pinus oocarpa</i>	2.118 abc (26,68)	0,790 c (19,45)	0,429 ab (14,72)	85,61 cd (39,28)
<i>Pinus tecunumanii</i>	2.464 a (32,05)	0,782 c (15,47)	0,460 a (12,62)	71,81 d (44,65)
<i>Pinus taeda</i>	1.747 cd (22,42)	0,765 c (12,25)	0,407 bcd (14,16)	90,79 bcd (35,26)
<i>p</i>	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*

Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna são estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. *Significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo; valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras.

condição de ensaio, não foram encontradas espécies com dureza média estatisticamente inferior ao *Pinus taeda*.

A distribuição da dureza em estado verde de acordo com a face avaliada é apresentada na Tabela 8.17.

Pode-se constatar que nas três faces avaliadas, o *Pinus tecunumanii* apresentou os maiores valores médios de dureza, e a espécie *Pinus chiapensis* demonstrou os menores resultados. É possível verificar ainda, que para todas as faces testadas, nenhuma espécie apresentou dureza média estatisticamente inferior a espécie utilizada como testemunha.

TABELA 8.17 – RESULTADOS MÉDIOS DE DUREZA NA CONDIÇÃO VERDE DE ACORDO COM A FACE AVALIADA

Espécie	Dureza Tangencial	Dureza Radial	Dureza Longitudinal	ME _{verde}	ME _{básica}	TU
	(N)	(N)	(N)	(g/cm ³)	(g/cm ³)	(%)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	2.192 ab (38,07)	1.962 ab (25,47)	2.285 ab (30,31)	0,884 a (8,97)	0,405 bcd (13,28)	121,68 a (26,84)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	1.687 cd (36,12)	1.715 bc (18,69)	1.958 bcd (24,12)	0,849 abc (8,93)	0,370 de (11,71)	131,52 a (20,76)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	1.745 bcd (36,99)	1.681 bc (26,69)	1.889 cd (28,12)	0,801 bc (15,38)	0,389 cde (12,71)	108,60 abc (31,84)
<i>Pinus chiapensis</i>	1.516 d (27,08)	1.548 c (29,41)	1.816 d (19,88)	0,659 d (17,97)	0,360 e (9,81)	84,28 d (39,31)
<i>Pinus maximinoi</i>	1.889 abcd (25,12)	1.767 bc (20,50)	2.147 abcd (18,65)	0,872 ab (13,71)	0,423 bc (12,68)	109,33 ab (35,46)
<i>Pinus oocarpa</i>	1.978 abc (33,05)	2.109 a (27,96)	2.268 abc (26,10)	0,790 c (19,45)	0,429 ab (14,72)	85,61 cd (39,28)
<i>Pinus tecunumanii</i>	2.308 a (38,45)	2.227 a (26,94)	2.383 a (29,88)	0,782 c (15,47)	0,460 a (12,62)	71,81 d (44,65)
<i>Pinus taeda</i>	1.625 cd (25,05)	1.621 bc (35,25)	1.995 abcd (25,51)	0,765 c (12,25)	0,407 bcd (14,16)	90,79 bcd (35,26)
<i>p</i>	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*

Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna são estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade; TU: teor de umidade; *Significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo; valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras.

8.4.4.2 Dureza Janka na condição de umidade de equilíbrio de 12%

Na Tabela 8.18 pode ser observada a dureza média obtida nos ensaios efetuados a 12% de umidade.

TABELA 8.18 – RESULTADOS MÉDIOS DE DUREZA JANKA NA CONDIÇÃO SECA A 12%

Espécie	Dureza Janka (N)	ME _{12%} (g/cm ³)	ME _{básica} (g/cm ³)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	2.808 bc (34,01)	0,464 bcd (16,25)	0,406 cd (16,03)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	2.153 d (14,22)	0,420 d (8,45)	0,367 e (8,48)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	2.692 bcd (20,34)	0,472 bc (12,69)	0,410 cd (12,61)
<i>Pinus chiapensis</i>	2.528 cd (21,11)	0,436 cd (10,70)	0,380 de (10,59)
<i>Pinus maximinoi</i>	3.405 a (20,18)	0,533 a (12,17)	0,462 ab (11,96)
<i>Pinus oocarpa</i>	3.429 a (25,12)	0,521 a (13,55)	0,452 ab (13,54)
<i>Pinus tecunumanii</i>	3.410 a (24,58)	0,547 a (11,28)	0,475 a (11,34)
<i>Pinus taeda</i>	3.162 ab (24,62)	0,496 ab (15,99)	0,429 bc (15,91)
<i>p</i>	0,000*	0,000*	0,000*

Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna são estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo; valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras.

Observa-se que o *Pinus oocarpa* apresentou o maior valor médio, formando uma classe superior de dureza juntamente com o *Pinus maximinoi*, o *Pinus tecunumanii* e o *Pinus taeda*. Já a menor dureza média é obtida a partir do *Pinus caribaea* var. *caribaea*, o qual não apresenta diferença estatística significativa em relação ao *Pinus chiapensis* e ao *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. Comparando os *Pinus* tropicais em relação à testemunha, apenas as espécies *Pinus chiapensis* e

Pinus caribaea var. *caribaea*, apresentam dureza média estatisticamente inferior ao *Pinus taeda*.

Na Tabela 8.19 são apresentados os valores médios de dureza de acordo com a face avaliada.

Para a face tangencial o maior valor médio foi apresentado pelo *Pinus tecunumanii*, sendo esta espécie estatisticamente igual ao *Pinus oocarpa*, ao *Pinus maximinoi* e ao *Pinus taeda*. O menor valor médio foi obtido a partir do *Pinus caribaea* var. *caribaea*, o qual não apresenta diferença estatística significativa em relação ao *Pinus caribaea* var. *bahamensis* e ao *Pinus chiapensis*. É possível constatar ainda para esta face avaliada, que apenas o *Pinus caribaea* var. *caribaea* é estatisticamente inferior à testemunha.

Para a face radial, o *Pinus tecunumanii* também apresentou o maior valor médio, sendo estatisticamente igual ao *Pinus oocarpa*, ao *Pinus taeda* e ao *Pinus maximinoi*. A menor dureza foi evidenciada na espécie *Pinus caribaea* var. *caribaea*, a qual forma uma classe de dureza inferior juntamente com as outras duas variedades de *Pinus caribaea* e com o *Pinus chiapensis*. Em relação à testemunha, apenas o *Pinus caribaea* var. *caribaea* e o *Pinus chiapensis* apresentam diferença estatística significativa.

Em relação à face longitudinal, pode-se observar que o maior valor médio foi apresentado pelo *Pinus oocarpa*, sendo este, estatisticamente igual ao *Pinus maximinoi*, ao *Pinus tecunumanii* e ao *Pinus taeda*. O menor valor médio para a face avaliada foi apresentado pelo *Pinus caribaea* var. *caribaea*. Em relação à testemunha, verifica-se que apenas o *Pinus caribaea* var. *caribaea* e o *Pinus chiapensis* apresentam dureza longitudinal estatisticamente inferior.

TABELA 8.19 – RESULTADOS MÉDIOS DE DUREZA NA CONDIÇÃO SECA A 12% DE ACORDO COM A FACE AVALIADA

Espécie	Dureza Tangencial (N)	Dureza Radial (N)	Dureza Longitudinal (N)	ME _{12%} (g/cm ³)	ME _{básica} (g/cm ³)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	2.348 cd (46,95)	2.522 bc (28,56)	3.556 bcd (35,17)	0,464 bcd (16,25)	0,406 cd (16,03)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	1.750 d (23,42)	2.027 c (22,28)	2.682 e (18,17)	0,420 d (8,45)	0,367 e (8,48)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	2.419 bc (27,42)	2.338 bc (23,25)	3.312 cde (19,89)	0,472 bc (12,69)	0,410 cd (12,61)
<i>Pinus chiapensis</i>	2.126 cd (24,64)	2.208 c (24,86)	3.249 de (19,46)	0,436 cd (10,70)	0,380 de (10,59)
<i>Pinus maximinoi</i>	3.079 a (27,36)	3.013 a (20,07)	4.121 ab (20,57)	0,533 a (12,17)	0,462 ab (11,96)
<i>Pinus oocarpa</i>	3.038 ab (35,63)	3.049 a (26,94)	4.201 a (23,69)	0,521 a (13,55)	0,452 ab (13,54)
<i>Pinus tecunumanii</i>	3.130 a (34,07)	3.289 a (22,90)	3.81 abc (22,29)	0,547 a (11,28)	0,475 a (11,34)
<i>Pinus taeda</i>	2.597 abc (30,09)	2.915 ab (39,98)	3.974 abc (20,21)	0,496 ab (15,99)	0,429 bc (15,91)
<i>p</i>	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*

Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna são estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. * Significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo; valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras.

Comparando os valores médios obtidos neste experimento com os resultados da literatura, verifica-se que Banks (1977) avaliando a qualidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *caribaea* com 26 anos, encontrou dureza média nas faces laterais (tangencial e radial) de 3.433 N e dureza longitudinal de 4.120 N, onde estes valores são superiores a dureza média calculada para as faces tangencial e radial deste trabalho (1.889 N), assim como para a face longitudinal (2.682 N), sendo este resultado explicado pela maior massa específica obtida por Banks (1977) para o material avaliado, que foi de 0,546 g/cm³, a qual é maior que a massa específica média obtida neste trabalho (0,420 g/cm³). Como é de conhecimento, uma maior massa específica implica em paredes celulares mais grossa, maior quantidade de lenho tardio, e conseqüentemente maior propriedade.

Para o *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, Banks (1977) descreve dureza na face lateral de 2.637 N e 2.799 N e dureza longitudinal de 3.369 N e 3.207 N, para plantio com 24 e 25 anos respectivamente. Em comparação com os resultados deste trabalho, verifica-se que os valores médios para a face lateral (tangencial e radial) é de 2.379 N e para a face longitudinal é de 3.312 N, sendo estes valores similares entre si. Considerando estes resultados, vale ressaltar que a dureza, assim como as demais propriedades da madeira, estão associadas a massa específica, no entanto, a dureza de coníferas pode muitas vezes ser influenciada pelas faixas de lenho inicial e tardio, mascarando muitas vezes tais resultados, já que a aplicação da carga pode, coincidentemente ser aplicada exclusivamente no lenho inicial ou no lenho tardio. Este fato é ainda mais agravado em arvores que possuem anéis de crescimento muito largos, o qual pode subestimar o valor médio de uma espécie ou de um conjunto de amostras.

Pesquisas realizadas por Klock (2000) com o *Pinus maximinoi*, descrevem para esta espécie aos 10 anos de idade, dureza no intervalo de 2.266 N a 3.411 N, sendo o valor inferior para dureza na face tangencial, o valor superior para a face longitudinal, e para a face radial o valor é de 2.492 N. Em relação aos resultados do presente trabalho, pode-se notar que os valores médios para as três faces avaliadas são superiores, sendo esta diferença explicada pela idade e conseqüentemente redução da madeira juvenil e aumento da massa específica, já que o material utilizado nas duas pesquisas é proveniente do mesmo local.

Para o *Pinus taeda*, a literatura indica resultados de 3.433 N para plantios de 10 anos de idade (KLOCK, 2000) e 2.993 N a partir de plantio de 9 anos localizados em Santa Catarina (BRAND *et al.*, 2004), onde os valores podem ser considerados similares, desde que sejam considerados os aspectos relacionados a idade e também a forma de amostragem em ambos os trabalhos.

Para as demais espécies de *Pinus* tropicais, as pesquisas na área de caracterização mecânica são escassas ou então inexistentes, não sendo encontrada literatura pertinente para efetuar comparação da propriedade de dureza.

De maneira geral, comparando os valores encontrados neste trabalho para as espécies de *Pinus* tropicais e comparando com os valores médios descritos pela literatura para o *Pinus taeda* e para o *Pinus elliottii*, os quais apresentam valores em torno de 2.993 N (BRAND *et al.*, 2004), e 2.788 N (SANTINI; HASELEIN; GATTO, 2000), respectivamente, verifica-se que as espécies apresentam-se compatíveis, e algumas delas são ligeiramente superiores, caracterizando maior qualidade à madeira oriundas destes plantios.

8.4.4.3 Influência do teor de umidade sobre a dureza

A Tabela 8.20 apresenta a influência do teor de umidade sobre a propriedade de dureza das espécies estudadas.

Para a dureza média, a espécie que apresentou o maior acréscimo foi o *Pinus taeda* com uma taxa de 2,49% a cada 1% de variação no teor de umidade e o menor valor médio foi apresentado pelo *Pinus caribaea* var. *caribaea* com taxa de 0,94% a cada 1% de variação na umidade.

Avaliando o comportamento da dureza com a variação da umidade a partir das faces avaliadas, verifica-se que o *Pinus taeda* foi a espécie que apresentou o maior acréscimo com taxas de 2,03%, 2,74% e 2,90% para faces tangencial, radial e longitudinal, respectivamente. Por outro lado, o menor incremento em dureza, também para as três faces, foi observado no *Pinus caribaea* var. *caribaea* com valores médios de 0,10%, 0,64% e 1,51% a cada 1% de mudança no teor de umidade.

TABELA 8.20 – INFLUÊNCIA DO TEOR DE UMIDADE SOBRE A DUREZA MÉDIA E SOBRE A DUREZA NAS DIFERENTES FACES AVALIADAS

Espécie	$\Delta\% D_{\text{média}}^1$	Relação	$\Delta\% D_{\text{tangencial}}^2$	Relação	$\Delta\% D_{\text{radial}}^3$	Relação	$\Delta\% D_{\text{longitudinal}}^4$	Relação
	PSF a 12%	$D_{\text{média}}$ 12%/verde	PSF a 12%	$D_{\text{tangencial}}$ 12%/verde	PSF a 12%	D_{radial} 12%/verde	PSF a 12%	$D_{\text{longitudinal}}$ 12%/verde
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	1,20 (21,52)	1,27	0,14 (2,52)	1,07	1,12 (20,16)	1,29	2,23 (40,14)	1,56
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	0,94 (17,01)	1,20	0,10 (1,80)	1,04	0,64 (11,52)	1,18	1,51 (27,18)	1,37
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	1,90 (34,19)	1,52	1,25 (22,50)	1,39	1,51 (27,18)	1,39	2,54 (45,72)	1,75
<i>Pinus chiapensis</i>	1,98 (35,65)	1,55	1,37 (24,66)	1,40	1,64 (29,52)	1,43	2,74 (49,32)	1,79
<i>Pinus maximinoi</i>	2,40 (43,13)	1,76	2,01 (36,18)	1,63	2,43 (43,74)	1,71	2,80 (50,40)	1,92
<i>Pinus oocarpa</i>	2,12 (38,23)	1,62	1,81 (32,58)	1,54	1,73 (31,14)	1,45	2,73 (49,14)	1,85
<i>Pinus tecunumanii</i>	1,54 (27,73)	1,38	1,42 (25,56)	1,37	1,87 (33,66)	1,47	2,15 (38,70)	1,60
<i>Pinus taeda</i>	2,49 (44,76)	1,81	2,03 (36,54)	1,60	2,74 (49,32)	1,80	2,90 (52,20)	1,99

¹ Variação % na dureza média a cada 1% de variação no teor de umidade; ² Variação % na dureza tangencial a cada 1% de variação no teor de umidade; ³ Variação % na dureza radial a cada 1% de variação no teor de umidade; ⁴ Variação % na dureza longitudinal a cada 1% de variação no teor de umidade; valores entre parênteses referem-se ao acréscimo de dureza quando a madeira passa do estado verde (PSF) para 12% de umidade; PSF: 30%.

Pode ser verificado também, que existe uma relação de aumento de dureza com a redução do teor de umidade em cada face avaliada, onde é observado que o acréscimo na resistência na face radial é maior que na face tangencial, e o aumento da face longitudinal é maior que na face radial.

Comparando com os valores indicados pelo FPL (1955) para a correção da propriedade, de 2,5% para as faces laterais (tangencial e radial) e 4% para a face longitudinal, verifica-se que os valores indicados por este laboratório são ligeiramente superiores, onde os valores mais adequados para correção da resistência em espécies de *Pinus* no Brasil, entre o PSF e 12% e com idade similar (18 anos), está em torno de 1,65% para a face tangencial, 1,70% para a face radial e 2,50% para a face longitudinal.

8.4.4.4 Influência da posição longitudinal sobre a dureza

Na Tabela 8.21 são apresentados os valores médios de dureza para as diferentes toras que compõem o fuste.

Para a 1ª tora, a maior dureza média foi obtida a partir dos ensaios realizados no *Pinus oocarpa*. De acordo com a análise variância, apenas as espécies *Pinus caribaea* var. *bahamensis* e *Pinus chiapensis* apresentam resultados estatisticamente inferiores a ela, e também são as únicas que apresentam diferença estatística significativa em relação ao *Pinus taeda*.

Na 2ª tora, a maior dureza foi demonstrada pelo *Pinus maximinoi*, o qual é estatisticamente superior apenas em relação as variedades *bahamensis* e *caribaea*. Nesta posição não foi constatada diferença estatística significativa entre as espécies de *Pinus* tropicais e a testemunha.

Em relação a 3ª tora, nota-se novamente que o *Pinus maximinoi* apresentou a maior dureza, sendo superior as espécies *Pinus caribaea* var. *caribaea* e *Pinus chiapensis*. Nenhuma das espécies apresentou resultado estatisticamente inferior a testemunha.

TABELA 8.21– INFLUÊNCIA DA POSIÇÃO LONGITUDINAL SOBRE A DUREZA MÉDIA A 12% DE UMIDADE

Espécie	1ª Tora (N)	2ª Tora (N)	3ª Tora (N)	4ª Tora (N)	<i>p</i>
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	_B 2.230 b (10,09)	_B 2.575 bc (34,19)	_A 3.617 a (27,51)	_{AB} 2.891 ab (33,95)	0,023 *
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	_A 2.551 ab (4,03)	_{AB} 2.169 c (16,60)	_{AB} 2.130 b (8,91)	_B 1.882 b (12,22)	0,052 *
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	_A 2.491 ab (20,11)	_A 2.867 abc (22,86)	_A 2.283 ab (20,91)	_A 2.805 ab (15,20)	0,446 ^{ns}
<i>Pinus chiapensis</i>	_B 2.399 b (21,39)	_{AB} 2.732 abc (11,41)	_C 1.769 b (4,70)	_A 3.004 a (10,41)	0,000*
<i>Pinus maximinoi</i>	_A 3.624 a (11,42)	_A 3.401 a (26,32)	_A 3.368 a (16,31)	_A 2.876 ab (13,21)	0,521 ^{ns}
<i>Pinus oocarpa</i>	_A 3.845 a (25,97)	_A 3.382 ab (22,83)	_A 3.298 a (21,88)	_A 2.997 a (22,06)	0,247 ^{ns}
<i>Pinus tecunumanii</i>	_A 3.779 a (28,11)	_A 3.228 ab (23,76)	_A 3.262 a (16,12)	_A 3.058 a (7,66)	0,193 ^{ns}
<i>Pinus taeda</i>	_A 3.825 a (9,90)	_B 2.674 abc (17,71)	_{AB} 2.726 ab (10,25)	_{AB} 3.125 a (21,62)	0,030 *
<i>p</i>	0,000*	0,000*	0,000*	0,005*	

Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma coluna (a direita, minúscula e em fonte normal) indicam diferenças da dureza na referida tora entre espécies, e são estatisticamente diferentes pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade. Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma linha, (a esquerda, maiúscula e em fonte subscrita) indicam diferenças na dureza ao longo do fuste na espécie e são estatisticamente diferentes pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo; valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras.

Para a 4ª tora, pode-se observar que o maior e o menor resultado médio foi obtido a partir do *Pinus taeda* e do *Pinus caribaea* var. *caribaea*, sendo estas duas espécies estatisticamente diferentes entre si. Entre as demais espécies de *Pinus* tropicais e a testemunha, não foi constatada diferença estatística significativa.

Avaliando a variação da dureza ao longo do fuste em cada espécie, nota-se que as espécies *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Pinus maximinoi*, *Pinus oocarpa* e *Pinus tecunumanii*, não apresentaram dureza média com diferença estatística significativa entre as diferentes toras, caracterizando madeira com dureza relativamente homogênea até a 4ª tora. Por outro lado, a espécie com maior variabilidade de propriedade foi o *Pinus chiapensis*, sendo necessário tomar precauções quanto ao uso da espécie caso a dureza seja uma propriedade fundamental à utilização final, e avaliar com maior profundidade as causas desta variação, nesta propriedade e nas demais, já que apresentam comportamento similar.

8.4.5 Estimativa do módulo de elasticidade por meio de emissão de ondas de tensão

A Tabela 8.22 apresenta os valores médios do módulo de elasticidade estático, determinado a partir do método convencional sob o ensaio de flexão estática, e do módulo de elasticidade dinâmico, obtido a partir do método de propagação de ondas de tensão, juntamente com o respectivo coeficiente de correlação entre as duas metodologias aplicadas em amostras livres de defeitos utilizadas para a determinação convencional, destrutiva, da resistência a flexão estática da madeira, para sua caracterização mecânica.

De acordo com os resultados mostrados na tabela acima, verifica-se que os valores determinados a partir do método não destrutivo de emissão de ondas de tensão são bastante similares ao valor real determinado pelo método destrutivo, sendo que os valores médios do método dinâmico são sempre superiores aos valores reais.

TABELA 8.22 – RESULTADOS MÉDIOS DO MÓDULO DE ELASTICIDADE ESTÁTICO E DINÂMICO EM ENSAIOS DE FLEXÃO ESTÁTICA

Espécie	MOE convencional (MPa)	MOE dinâmico (MPa)	ρ_{MOE}	Correlação*
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	^A 7.106 bc (31,48)	^A 7.336 c (27,91)	0,632	0,96
<i>Pinus chiapensis</i>	^A 7.293 bc (20,36)	^A 7.904 bc (19,24)	0,245	0,84
<i>Pinus maximinoi</i>	^A 8.943 a (24,47)	^A 9.449 a (24,44)	0,317	0,93
<i>Pinus oocarpa</i>	^A 7.993 ab (35,71)	^A 8.423 abc (34,58)	0,507	0,97
<i>Pinus tecunumanii</i>	^A 8.943 a (24,47)	^A 9.627 a (26,85)	0,204	0,96
<i>Pinus taeda</i>	^A 8.234 ab (28,23)	^A 9.227ab (31,16)	0,195	0,93
$\rho_{espécies}$	0,000*	0,000*		

Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma coluna (a direita, minúscula e em fonte normal) indicam diferenças da propriedade entre espécies, e são estatisticamente diferentes pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade. Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma linha, (a esquerda, maiúscula e em fonte subscrita) indicam diferenças entre o módulo de elasticidade convencional e o módulo de elasticidade dinâmico e são estatisticamente diferentes pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo; valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras.

Observa-se que as duas formas de determinação do módulo de elasticidade apresentaram diferença estatística significativa entre espécies, e que o método não destrutivo apresentou-se compatível com a diferenciação estatística apresentada no método convencional, indicando a possibilidade de obtenção diferenças de resistência entre as espécies (madeira) sem destruí-las.

São também observadas fortes correlações entre os dois métodos, indicando que esta propriedade pode ser determinada com segurança, gerando diversos benefícios, entre eles, rapidez na avaliação, utilização do material posteriormente, classificação de peças em classes de qualidade, entre outros.

Vale lembrar, que o material avaliado neste capítulo, consiste de amostras totalmente isentas de defeitos, as quais são preconizadas pela norma, e sem a ocorrência de defeitos os resultados se tornam mais puros, mais confiáveis e com melhores coeficientes de correlação. A avaliação do comportamento da madeira

destas espécies em peças de maiores dimensões (estruturais) e sujeitas a ocorrência de defeitos, é apresentada detalhadamente no Capítulo 9 – Avaliação convencional e não destrutiva de espécies de *Pinus* tropicais para uso estrutural.

Para melhor visualizar as relações entre os módulos de elasticidade convencional e dinâmico em cada espécie, são apresentados os seguintes gráficos.

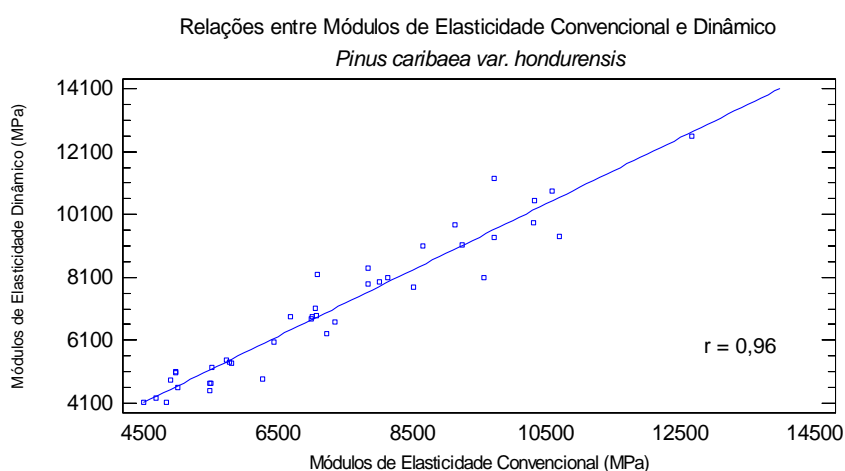


GRÁFICO 8.1 – RELAÇÕES ENTRE MÓDULO DE ELASTICIDADE CONVENCIONAL E MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO DA ESPÉCIE *Pinus caribaea var. hondurensis*

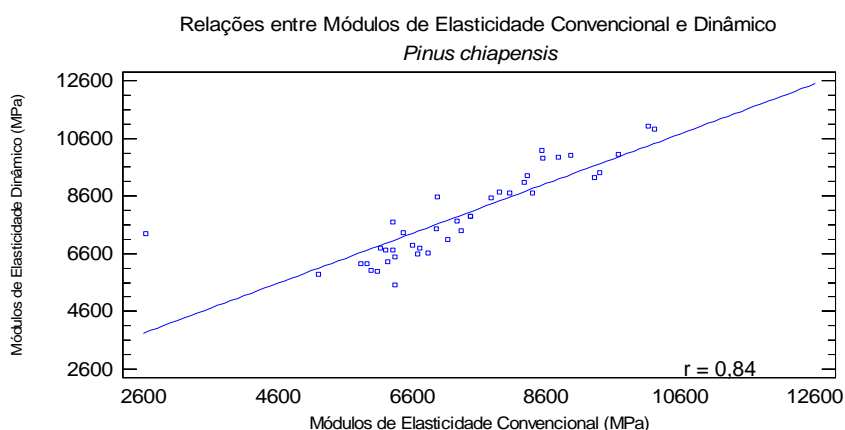


GRÁFICO 8.2 – RELAÇÕES ENTRE MÓDULO DE ELASTICIDADE CONVENCIONAL E MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO DA ESPÉCIE *Pinus chiapensis*

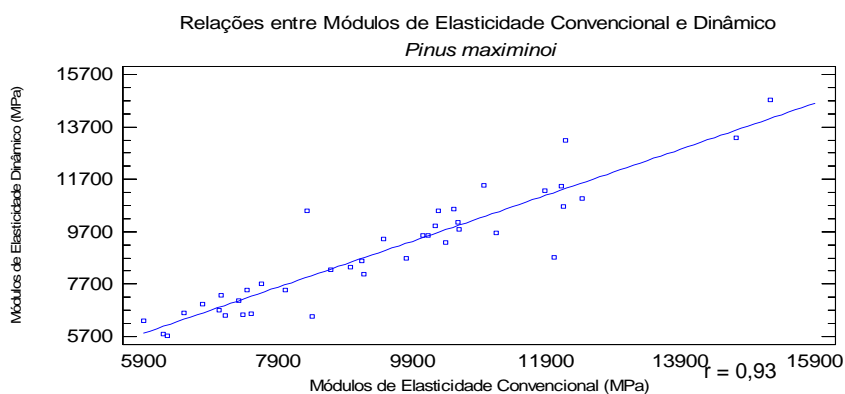


GRÁFICO 8.3 – RELAÇÕES ENTRE MÓDULO DE ELASTICIDADE CONVENCIONAL E MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO DA ESPÉCIE *Pinus maximinoi*

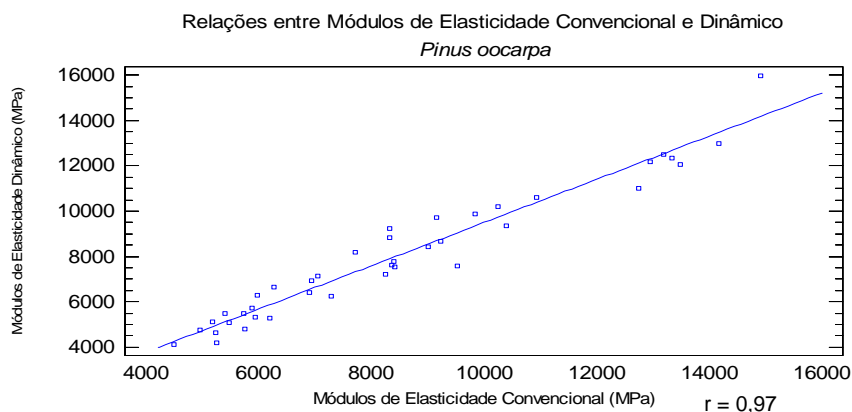


GRÁFICO 8.4 – RELAÇÕES ENTRE MÓDULO DE ELASTICIDADE CONVENCIONAL E MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO DA ESPÉCIE *Pinus oocarpa*

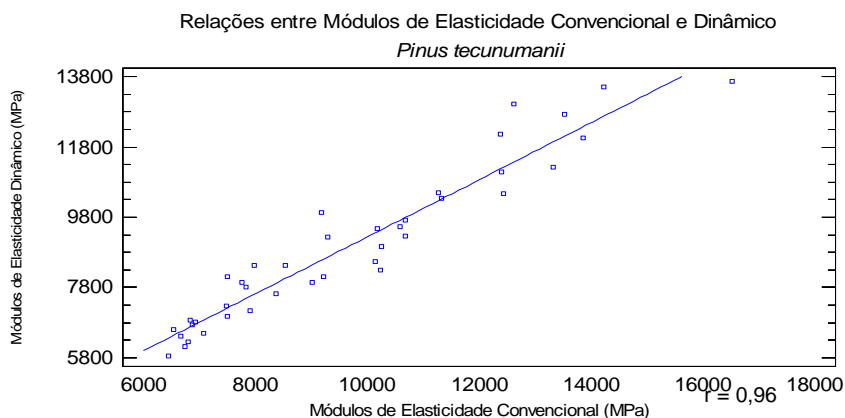


GRÁFICO 8.5 – RELAÇÕES ENTRE MÓDULO DE ELASTICIDADE CONVENCIONAL E MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO DA ESPÉCIE *Pinus tecunumanii*

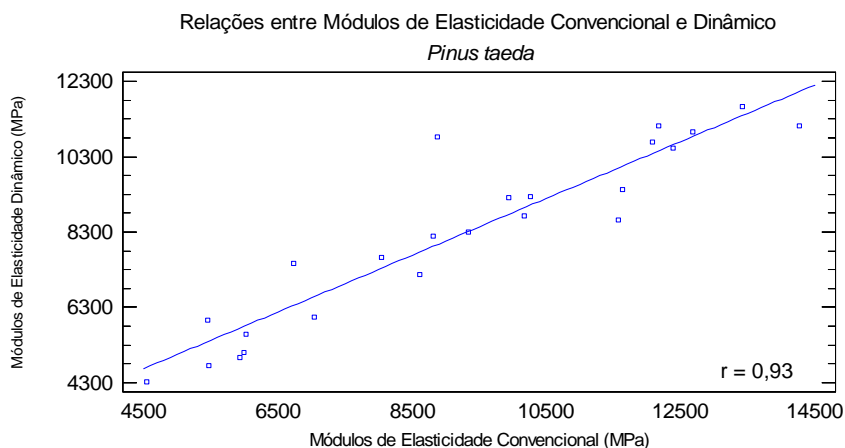


GRÁFICO 8.6 – RELAÇÕES ENTRE MÓDULO DE ELASTICIDADE CONVENCIONAL E MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO DA ESPÉCIE *Pinus taeda*

Comparando os resultados apresentados na Tabela 8.22, com resultados reportados na literatura para esta mesma técnica, verifica-se que Ribeiro (2009), avaliando a qualidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Eucalyptus grandis* por métodos destrutivos e não destrutivos, obteve coeficientes de determinação entre módulo de elasticidade estático e módulo de elasticidade dinâmico de 0,85 para a madeira de *Pinus*, e 0,67 para a madeira de *Eucalyptus*, comprovando também, que a técnica demonstra-se eficiente e pode ser aplicada na predição da propriedade.

Del Menezzi, Silveira e Souza (2010) buscando estimar as propriedades de flexão estática de espécies de madeiras amazônicas por meio da emissão de ondas de tensão, obtiveram coeficiente de correlação de 0,95 entre o módulo de elasticidade dinâmico e o módulo de elasticidade estático. Segundo estes autores, o módulo de elasticidade dinâmico é um ótimo estimador das propriedades de flexão de madeiras tropicais quando há variabilidade entre espécies. Já Ravenshorst *et al.* (2008) avaliando também madeiras tropicais obtiveram resultados não tão expressivos, onde o coeficiente de correlação entre os módulos dinâmicos foi de 0,63. De acordo com estes autores, para espécies tropicais muitas vezes é difícil

obter modelos precisos para cada espécie individualmente, o contrário do que acontece com as coníferas, por exemplo.

8.4.6 Correlações entre propriedades

8.4.6.1 Correlações entre propriedades mecânicas e massa específica

Nas Tabelas 8.23 e 8.24 são apresentadas as relações existentes entre a massa específica e as propriedades mecânicas da madeira, avaliadas tanto no estado verde como na condição de umidade de equilíbrio de 12%.

TABELA 8.23 – CORRELAÇÕES EXISTENTES ENTRE PROPRIEDADES MECÂNICAS AVALIADAS NA CONDIÇÃO VERDE E MASSA ESPECÍFICA BÁSICA

Espécie	Flexão Estática		Compressão		Cisalhamento	Dureza
	MOR	MOE	MOR	MOE		
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	0,64	0,52	0,84	0,80	0,78	0,90
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	0,69	0,58	0,66	0,66	0,77	0,80
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	0,44	0,28	0,56	0,28 ^{ns}	0,68	0,91
<i>Pinus chiapensis</i>	0,70	0,30	0,62	-0,13 ^{ns}	0,67	0,79
<i>Pinus maximinoi</i>	0,55	0,38	0,58	0,27 ^{ns}	0,81	0,88
<i>Pinus oocarpa</i>	0,48	0,34	0,68	0,65	0,31	0,86
<i>Pinus tecunumanii</i>	0,70	0,62	0,81	0,68	0,63	0,92
<i>Pinus taeda</i>	0,80	0,74	0,67	0,61	0,53	0,92

^{ns} Valores não significativos a 5% de probabilidade; Todos os demais valores são significativos a 95% de probabilidade.

Conforme pode ser verificado, foram obtidas boas correlações entre a massa específica básica e as propriedades mecânicas avaliadas em estado verde, onde a propriedade de dureza foi a que demonstrou os melhores resultados. Estes

resultados indicam que a massa específica da madeira apresenta acentuada influência mesmo em amostras com elevado teor de umidade, ou totalmente saturadas.

Em relação às correlações obtidas para a massa específica básica e as propriedades mecânicas a 12%, os resultados foram também bastante satisfatórios, sendo verificadas, para a maioria dos casos, correlações significativas muito fortes, segundo Sampieri, Collado e Lucio (2006).

Estes resultados são compatíveis com as afirmações de Koch (1972), que afirma que módulo de ruptura, o módulo de elasticidade, a resistência a compressão paralela às fibras e o cisalhamento são linearmente relacionados com a massa específica. Segundo Haselein *et al.* (2002) existe uma estreita relação entre a massa específica da madeira e as propriedades mecânicas sendo que, qualquer fator que acarrete alteração na primeira irá produzir efeitos nas últimas.

TABELA 8.24 – CORRELAÇÕES EXISTENTES ENTRE PROPRIEDADES MECÂNICAS AVALIADAS NA CONDIÇÃO SECA A 12% E MASSA ESPECÍFICA BÁSICA

Espécie	Flexão Estática		Compressão		Cisalhamento	Dureza
	MOR	MOE	MOR	MOE		
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	0,72	0,71	0,94	0,74	0,71	0,95
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	0,49	0,49	0,79	0,76	0,48	0,48
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	0,34	0,06 ^{ns}	0,71	0,47	0,70	0,91
<i>Pinus chiapensis</i>	0,86	0,44	0,08 ^{ns}	0,63	0,84	0,94
<i>Pinus maximinoi</i>	0,78	0,54	0,54	0,35	0,69	0,86
<i>Pinus oocarpa</i>	0,75	0,72	0,81	0,73	0,79	0,93
<i>Pinus tecunumanii</i>	0,76	0,70	0,85	0,60	0,69	0,94
<i>Pinus taeda</i>	0,89	0,88	0,87	0,81	0,79	0,93

^{ns} Valores não significativos a 5% de probabilidade; Todos os demais valores são significativos a 95% de probabilidade.

Observando as informações reportadas na literatura, Pearson e Gilmore (1980) avaliando as propriedades de *Pinus taeda*, obtiveram coeficientes de

correlações similares ao deste trabalho para a mesma espécie, cujos valores foram de 0,89 entre massa específica e módulo de ruptura e 0,81 entre massa específica e módulo de elasticidade.

Lucas Filho (1997) avaliando a influência da massa específica aparente sobre a resistência e rigidez da madeira de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* a partir do ensaio de flexão estática, obteve para amostras entre 17% e 18% de umidade, correlações entre 0,64 e 0,85. Para o ensaio de compressão paralela as correlações variaram entre 0,42 a 0,73; e para o ensaio de cisalhamento tangencial e radial os valores apresentaram na faixa de 0,27 e 0,54. Pode-se verificar, em relação aos resultados apresentados nas Tabelas 8.23 e 8.24, que mesmo com as diferenças de teor de umidade entre os materiais utilizados nos dois estudos, as correlações foram de certa forma compatíveis para os ensaios de flexão e compressão, e para o ensaio de cisalhamento, as correlações determinadas no presente trabalho, foram para a maioria das espécies superiores às descritas por Lucas Filho (1997).

Klock (1989) em estudo da qualidade da madeira de *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* a partir de plantios com 14, 18 e 20 anos, localizado em Agudos – SP, obteve para madeira localizada na região mais interna da tora, correlações entre 0,66 a 0,78 para massa específica e módulo de ruptura e de 0,62 a 0,73 para massa específica e módulo de elasticidade, ambos no ensaio de flexão estática. Para o material localizado na porção mais externa do tronco os valores das correlações de ambos os módulos e massa específica variaram no intervalo de 0,81 a 0,90. Nota-se que os resultados apresentados por este autor, para as referidas espécies apresentaram melhores resultados, quando comparados às correlações determinadas neste trabalho.

Já Oliveira *et al.* (2006) avaliando as propriedades da madeira de *Pinus taeda* em diferentes idades obtiveram correlações de 0,76 entre massa específica e resistência a flexão e 0,80 entre massa específica e resistência a compressão, e Klock (2000) em estudo da qualidade da madeira de *Pinus maximinoi* obteve coeficientes de 0,83 entre massa específica e módulo de ruptura a flexão, 0,71 entre massa específica e módulo de elasticidade à flexão, 0,73 entre massa específica e resistência a compressão paralela, 0,72 entre massa específica e módulo de elasticidade a compressão, 0,54 a 0,66 para cisalhamento e 0,70 a 0,88 para dureza, onde estes valores são similares aos determinados no presente trabalho.

8.4.6.2 Correlações entre propriedades mecânicas e velocidade de propagação das ondas de tensão nas toras

Na Tabela 8.25 são apresentadas as relações existentes entre as propriedades mecânicas avaliadas em estado verde e a velocidade de propagação das ondas de tensão nas toras. As correlações encontradas entre as propriedades mecânicas e velocidade de propagação das ondas de tensão nas árvores em pé (transversal e diagonal) não foram significativas para a maioria das propriedades, logo, não são apresentadas. É possível que o baixo nível de significância esteja associado às dificuldades e barreiras encontradas pela onda para se propagar na árvore em pé. Além disso, muito provavelmente, as baixas correlações se devem ao fato de que na árvore em pé a região avaliada pela propagação das ondas de tensão estão restritas entre a base e o DAP, e como as propriedades da madeira apresentam consideráveis variações ao longo do fuste, muito dificilmente serão obtidas correlações significativas e fortes.

TABELA 8.25 – CORRELAÇÕES EXISTENTES ENTRE PROPRIEDADES MECÂNICAS AVALIADAS NA CONDIÇÃO VERDE E VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NAS TORAS

Espécie	Flexão Estática		Compressão		Cisalhamento	Dureza
	MOR	MOE	MOR	MOE		
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	0,96	0,99	0,74	0,65	0,34	0,85
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	0,02 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,74	-0,45	-0,20 ^{ns}
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	0,90	0,85	0,52	0,93	0,05 ^{ns}	0,33 ^{ns}
<i>Pinus chiapensis</i>	0,17 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,37	0,00 ^{ns}	0,31 ^{ns}
<i>Pinus maximinoi</i>	0,62	0,76	-0,35 ^{ns}	0,63	-0,86	-0,44 ^{ns}
<i>Pinus oocarpa</i>	0,97	0,81	0,93	0,89	-0,22 ^{ns}	0,82
<i>Pinus tecunumanii</i>	0,96	0,99	0,15 ^{ns}	-0,21 ^{ns}	-0,50	0,89
<i>Pinus taeda</i>	0,02 ^{ns}	0,45	-0,11 ^{ns}	0,91	0,86	0,82

^{ns} Valores não significativos a 5% de probabilidade; Todos os demais valores são significativos a 95% de probabilidade.

De acordo com a tabela acima, são observadas para algumas espécies e propriedades fortes correlações, indicando ser possível estimar a qualidade e propriedades mecânicas da madeira a partir deste método. Para esta condição de ensaio, as melhores correlações foram obtidas a partir do *Pinus caribaea* var. *bahamensis* e *Pinus oocarpa*. Já as correlações mais fracas e estatisticamente insignificantes foram encontradas a partir do *Pinus caribaea* var. *caribaea* e do *Pinus chiapensis*, onde pode se afirmar, que a utilização do método de ondas de tensão não é eficiente para estimar as propriedades mecânicas a partir da avaliação das toras nesta espécie.

Já a Tabela 8.26 apresenta as relações existentes entre a velocidade de propagação das ondas tensão nas toras e as propriedades mecânicas determinadas na umidade de equilíbrio de 12%.

TABELA 8.26 – CORRELAÇÕES EXISTENTES ENTRE PROPRIEDADES MECÂNICAS AVALIADAS NA CONDIÇÃO SECA A 12% E VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NAS TORAS

Espécie	Flexão Estática		Compressão		Cisalhamento	Dureza
	MOR	MOE	MOR	MOE		
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	0,87	0,69	0,36	0,26 ^{ns}	0,66	0,56
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	-0,14 ^{ns}	0,42	0,37	0,51	0,39	-0,42
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	0,96	0,96	0,96	0,90	0,88	0,87
<i>Pinus chiapensis</i>	-0,32 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,13 ^{ns}	-0,14 ^{ns}
<i>Pinus maximinoi</i>	0,32 ^{ns}	0,59	0,68	0,54	-0,99	-0,84
<i>Pinus oocarpa</i>	0,59	0,78	0,87	0,36	0,42	0,74
<i>Pinus tecunumanii</i>	0,83	0,99	0,96	0,91	0,70	0,43
<i>Pinus taeda</i>	0,86	0,73	0,78	0,92	0,33 ^{ns}	0,69

^{ns} Valores não significativos a 5% de probabilidade; Todos os demais valores são significativos a 95% de probabilidade.

Observa-se também para este caso, que existem boas relações entre a velocidade de propagação das ondas de tensão e as propriedades mecânicas a 12%, podendo-se concluir que a aplicação das ondas de tensão nas toras pode caracterizar um método eficiente para estimar a qualidade da madeira, ainda em campo, agregando maior valor as diferentes espécies, exceto na espécie *Pinus chiapensis*, como já verificado na Tabela 8.25.

Nota-se ainda, que as espécies que melhor responderam à aplicação da técnica foram o *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, seguido do *Pinus tecunumanii* e do *Pinus taeda*, constituindo uma ferramenta eficiente para estas espécies.

8.5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos neste capítulo é possível apresentar as seguintes conclusões:

- Os melhores resultados do módulo de ruptura e módulo de elasticidade à flexão estática, tanto na condição de ensaio verde quanto na condição seca a 12%, foram obtidos a partir da espécie *Pinus tecunumanii*, o que indica que entre as espécies de *Pinus* tropicais é a mais adequada para utilização em finalidades estruturais.
- No ensaio de compressão paralela às fibras, a espécie *Pinus tecunumanii* também apresentou os maiores valores médios para os módulos de ruptura e elasticidade nas condições verde e seca, demonstrando novamente a superioridade desta espécie, sendo a mais indicada para o dimensionamento de colunas e elementos de treliça entre as espécies estudadas.
- Na resistência ao cisalhamento o *Pinus caribaea* var. *bahamensis* e o *Pinus tecunumanii* apresentam os maiores valores médios de resistência, sendo as espécies mais indicadas quando a madeira é sujeita aos esforços de cisalhamento na condição verde. Quando seca, a madeira do *Pinus oocarpa* apresenta a maior resistência.
- A maior dureza média no estado verde foi apresentada pela espécie *Pinus tecunumanii*, já os maiores valores médios quando a propriedade é avaliada em peças secas foi obtido a partir das espécies *Pinus oocarpa*, *Pinus tecunumanii* e *Pinus maximinoi*.
- Os ensaios indicaram que o teor de umidade exerce forte influência sobre as propriedades mecânicas da madeira. As espécies de *Pinus* avaliadas chegaram a apresentar um aumento na resistência mecânica de 13,68% a 50,58% para as propriedades de flexão, 17,28% a 64,26% para as propriedades de compressão paralela às fibras, 22,50% a 45,54% para a resistência ao cisalhamento e 17,01% a 44,76% para a dureza média, desde a condição verde até a umidade de equilíbrio de 12%.

- Todas as espécies de *Pinus* tropicais avaliadas demonstraram menor sensibilidade a variação das propriedades mecânicas quando ocorre variações no teor de umidade, em comparação com o *Pinus taeda*
- A maioria das espécies apresentou o modelo de redução das propriedades mecânicas no sentido base-topo, no entanto, para a maioria delas não foi constatada diferença estatística significativa das propriedades, podendo-se considerar, de certa forma, matéria prima homogênea. Alguns resultados de aumento da propriedade em determinadas espécies e posições relativas são justificadas pela variação positiva da massa específica na região e provavelmente também, pela ocorrência de madeira de compressão.
- O método não destrutivo de propagação de ondas de tensão quando aplicado nas amostras utilizadas nos ensaios destrutivos, demonstrou ser uma técnica eficiente e promissora para a avaliação das propriedades mecânicas da madeira das espécies de *Pinus* tropicais e *Pinus taeda*, especialmente para o módulo de elasticidade, apresentando altas correlações com os valores obtidos a partir do método convencional.
- A análise das correlações demonstrou que a massa específica exerce acentuada influência sobre as propriedades mecânicas, mesmo quando a madeira é avaliada em condição verde.
- A aplicação das ondas de tensão nas árvores em pé não demonstrou ser uma técnica eficiente para estimar as propriedades mecânicas convencionais da madeira das espécies de *Pinus* tropicais, sendo necessário estudo complementares e diretamente relacionados a região de aplicação da metodologia.
- A técnica de propagação de ondas de tensão nas toras apresentou bons resultados, podendo ser considerada uma técnica eficiente para avaliar as propriedades mecânicas da madeira de algumas espécies de *Pinus* tropicais, agregando com isso, maior valor à matéria prima.
- A técnica de propagação de ondas de tensão nas árvores em pé e nas toras requer estudos mais aprofundados, assim como a adaptação do sistema de medição dos tempos de propagação das ondas, a fim de se obter resultados melhores e mais precisos.

- Sob o ponto de vista mecânico, as espécies de *Pinus* tropicais demonstraram elevado potencial e na maioria dos casos excelentes propriedades, muitas vezes superior a espécie testemunha (*Pinus taeda*), podendo ser aplicadas em diversas finalidades, como matéria prima complementar ou substituta das espécies tradicionalmente utilizadas pelas indústrias de base florestal (*Pinus taeda* e *Pinus elliottii*).

8.6 REFERÊNCIAS

ALBINO, J.C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação da densidade básica da madeira e produtividade da *Eucalyptus spp.* **Boletim de Pesquisa**, n. 26, 1985. 43 p.

ALMEIDA, L.L.; MATOS, J.L.M.; TRIANOSKI, R. HIGA, A.R. Estudo das características físico-mecânicas da madeira de *Acrocarpus fraxinifolius* e sua variação ao longo do fuste. 17º Evento de Iniciação Científica - 17º EVINCI, 2009, Setor de Ciências Agrárias, Curitiba – Paraná.

American Society for Testing and Materials (ASTM). Establishing structural grades and related allowable properties for visually graded lumber. **ASTM D 245-81**. Philadelphia, PA; 1982.

BALLARIN, A.W.; LARA PALMA, H.A. Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. **Árvore**. v. 27, n.3, p. 371-380, 2003.

BANKS, C.H. Some observations on the quality of the timber of South African grown *Pinus caribaea* var., *caribaea* and var. *hondurensis*. **South African Forestry Journal**, n. 102, p. 1-7, 1977.

BAUER, L.A.F. **Materiais de construção**. Rio de Janeiro, LTC. 2ª Ed. 1985. 705 p.

BENDSTEN, B. A. Properties of wood from improved and intensively managed trees. **Forest Products Journal**, v. 28, p. 61-72, 1978.

BODIG, J.; JAYNE, B.A. **Mechanics of wood and wood composites**. Krieger Publ. Malabar, 712 p. 1993.

BORTOLETTO, G. **Estudo da qualidade da madeira de *Pinus taeda* L. provenientes de árvores adultas atingidas por incêndio florestal**. 173 f. Tese. (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

BOWYER, J.L.; SHMULSKY, R.; HAYGREEN, J.G. **Forest products and wood science: an introduction**. 4th ed. Ames: Iowa State Press, 2003. 554 p.

BRAND, M.A.; KRAMBECK, L.B.P.; SIMÃO, R.L.; SANQUETTA, C.R.; SASSO, J.G. Ensaio experimental de espécies do gênero *Pinus* na avaliação das propriedades mecânicas da madeira. In: III ENCONTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2004, Lages, **Anais...** Lages, Universidade do Planalto Catarinense, 2004.

BRITO, J.O. ; BARRICHELO, L.E.G. Correlações entre o teor de lenho tardio e densidade básica para espécies do gênero *Pinus*. Circular técnica. **IPEF**, v. 30, p. 1-6, 1979.

BROTERO, F.A. **Métodos adotados no IPT para o Estudo de Madeiras Nacionais**. Boletim 31. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1956. 62p.

BROWN, H.P.; PASHIN, A.J.; FORSAITH, C.C. **Textbook of wood technology - II**. New York: Mc Graw - Hill, 1952. 783p.

BURGER, L.M.; RICHTER, H.G. **Anatomia da Madeira**. São Paulo. Livraria Nobel S.A, 154 p. 1991.

CATO, S.; McMILLAN, L.; DONALDSON, L.; RICHARDSON, T; ECHT, C; GARDNER, R. Wood formation from the base to the crown in *Pinus radiata*: gradients of tracheid wall thickness, wood density, radial growth rate and gene expression. **Plant Molecular Biology**, v. 60, p. 565-581, 2006.

Comissão Panamericana de Normas Técnicas. **COPANT 555**. Método de ensayo de flexion estatica. 1972.

Comissão Panamericana de Normas Técnicas. **COPANT 463**. Metodo de determinación del cizallamiento paralelo al grano. 1972.

Comissão Panamericana de Normas Técnicas. **COPANT 464**. Metodo de determinación de la compresión parallel al grano.1972.

Comissão Panamericana de Normas Técnicas. **COPANT 465**. Metodo de determinación de la dureza.1972.

COWN, D.J. Wood density of *radiata pine*: its variation and manipulation. **New Zealand Journal of Forestry Science**, v. 19, p. 84-94, 1974.

DEL MENEZZI, C.H.S.; SILVEIRA, R.R.; SOUZA, M.R. Estimativa das propriedades de flexão estática de seis espécies de madeiras amazônicas por meio da técnica não-destrutiva de ondas de tensão. **Acta Amazônica**, v. 40, n.2, p. 325-332, 2010.

DESCH, H.E. **Timbers it's structure and properties**. London, McMillan, 1982, 350p.

FERRANTE, M. **Seleção de Materiais**, 2ª edição, São Carlos, EDUFSCA, 2002, 286p.

FLORSHEIM, S.M.B. **Curvas de isopropriedades da madeira de árvores de *Pinus caribaea* var. *bahamensis***. 225 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

FOREST PRODUCTS LABORATORY (FPL). **Wood handbook** - wood as an engineering material. Washington, D.C.: United States Department of Agriculture, 1999. 463 p.

FOREST PRODUCTS LABORATORY (FPL). **Wood handbook** – basic information on wood as a material of construction with data for its use in design and specification. Washington, D.C.: United States Department of Agriculture, 1955. 528 p.

GALVÃO, A.P.M.; JANKOWSKY, I.P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1988. 111 p.

GATTO, D.A.; CALEGARI, L.; SANTINI, E.J.; STANGERLIN, D.M.; TREVISAN, R.; OLIVEIRA, L.S. Propriedades da madeira de *Pinus elliottii* submetido a diferentes temperaturas de secagem. **Cerne**, v. 14, n.3, p. 220-226, 2008.

GEHARDS, C.C. Effect of moisture content and temperature on the mechanical properties of wood: and analysis of immediate effects. **Wood and fiber**, v. 14, n.1, p.4-36, 1982.

GERE, J.M. **Mecânica dos Materiais**, Pioneira Thomson Learning Ltda, São Paulo 2003.

GONCALVES, F.G.; OLIVEIRA, J. T.S.; LUCIA, R.M.D.; SARTORIO, R.C. Estudo de algumas propriedades mecânicas da madeira de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis*. **Árvore**, v.33, n.3, p. 501-509, 2009 .

GREEN, D.W.; EVANS, J.W.; PELLERIN, R. Moisture content and the flexural properties of lumber: species differences, In: INTERNATIONAL TIMBER ENGINEERING CONFERENCE, London, **Proceedings**, London, England, 1991.

GURFINKEL, G. **Wood Engineering**. New Orleans: Southern Forest Products Association, 573p. 1973.

HASELEIN, C.R.; CECHIN, E.; SANTINI, E.J.; GATTO, D.A. Características estruturais da madeira de *Pinus elliottii* Engelm aos 30 anos de idade. **Ciência Florestal**, v. 10, n. 2, p. 135-144, 2000.

HAYGREEN, J.G.; BOWYER, J.L. **Forest products and wood science: an introduction**. Iowa: Iowa State University Press: AMES, 1996. 484 p.

HELLMEISTER, L.A.V.; BALLARIN, A.W.; LARA PALMA, H.A. Correlações entre módulo de elasticidade inferido pela propagação de ondas de tensão em toras e o obtido destrutivamente em corpos de prova de *Pinus taeda* L. In: X ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2006, São Pedro, **Caderno de Resumos...** São Pedro, Instituto Brasileiro da Madeira e das estruturas de Madeira, 2006, p.77.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira de *Pinus oocarpa* Schiede e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr e Golf**. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989

KLOCK, U. **Qualidade da madeira de *Pinus maximinoi* H. E. Moore**. 291 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

KOCH, P. Utilization of the Southern pines. Madison: USDA, Forest Service Agricultural. **Handbook**, 1972, 420 p.

KOLLMANN, F.F.P. **Tecnologia de la Madera y sus aplicaciones**. Madrid. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y Servicio de la Madera. 1959. 647 p.

KOLLMANN, F.F.P.; COTÊ, W.A. **Principles of wood science and technology**. Berlim: Springer Verlag, v. 1, 1968. 592 p.

LARSON, P.R.; NICHOLS, J.W.P.; DADSWELL, H.E. Formation and properties of juvenile wood in southern pines: a synopsis. Madison, USDA, 2001, 42 p.

LONGSDON, N.B.; CALIL JUNIOR, C. Influência da umidade nas propriedades de resistência e rigidez da madeira. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, n, 18, p, 77-107, 2002.

LUCAS FILHO, F.C. **Estudo da influência do teor de umidade e da massa específica aparente sobre a resistência das madeiras de *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm e *Pinus taeda* L.** 101 f. Dissertação. (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciência Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

MADSEN, B. **Structural behavior of timber**. North Vancouver, British Columbia. Canada, Timber Engineering Ltda, 1992.

MARTINS, O. **Estudo de ligações por conectores de chapas com dentes estampados em peças estruturais de madeira.** 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, 2007.

MATOS, J.L.M. **Estudo sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *P. taeda*.** 117f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

MATSUNAGA, D.K. **Avaliação da utilização de madeira comercial de *Pinus taeda* L. e da adequabilidade da Norma Européia Unificada (CEN), à construção de vigas laminadas coladas.** 195 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

MCLAIN, T.E.; DEBONIS, A.L.; GREEN, D.W.; WILSON, F.J.; LINK, C.L. The influence of moisture content on the flexural properties of Southern Pine dimension lumber. **Research Paper.** FPL 447. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1984.40 p.

MELCHIORETTO, D.; ELEOTÉRIO, J.R. Caracterização, classificação e comparação da madeira de *Pinus patula*, *P. elliottii* e *P. taeda* através de suas propriedades físicas e mecânicas. Congresso Regional De Iniciação Científica e Tecnológica, XVIII, 2003, Blumenau, SC. **Anais...** Blumenau, 2003. Disponível em: <<http://200.169.53.89/download/CD%20congressos/2003/CRICTE>> Acesso em: 25/02/2012.

MORAES NETO, S.P.; TELES, R.F.; RODRIGUES, T.O. Caracterização da madeira de cinco procedências de *Pinus tecunumanii* implantadas no Cerrado do Distrito Federal. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, n. 233, 2009, 30 p.

MORAES NETO, S.P.; MELO, J.T.; TELES, R.F.; RODRIGUES, T.O. Variação das propriedades físicas da madeira de cinco procedências de *Pinus tecunumanii* no Cerrado do Distrito Federal. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, n. 252, 2009b, 20 p.

MOREIRA, W.S. **Relações entre propriedades físico-mecânicas e características anatômicas e químicas da madeira.** 107f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1999.

MOURA, V.P.G.; VALE, A.T.; OLIVEIRA, I.R.M. Caracterização Física e Mecânica da madeira de *Pinus tecunumanii* com vistas à produção de móveis. **Circular Técnica**, n. 43, Embrapa. Brasília DF, 2005.

OLIVEIRA, F.L.; LIMA J. N., GARCIA, J.N., FLORSHEIM, S.M.B. Propriedades da madeira de *Pinus taeda* L. em função da idade e da posição radial na tora. **Revista do Instituto Florestal**, v. 18, p. 59-70, 2006.

OLIVEIRA, J.T.S. Propriedades físicas e mecânicas da madeira. In: OLIVEIRA, J.T.S.; FIEDLER, N.C.; NOGUEIRA, M. **Tecnologias aplicadas ao setor florestal brasileiro II**. Jerônimo Monteiro: 2007. P. 129-163.

PANSHIN, A.J.; DE ZEEW, C. **Textbook of wood technology**: II. New York, MC Graw Hill, 4 ed., 722 p. 1980.

PARKER, H. **Simplified design of structural timber**. New York, John Wiley, 2º Ed., 1963. 265p.

PEARSON, R.G., GILMORE, R.C. Effect of fast growth rate on the mechanical properties of *Loblolly pine*. **Forest Products Journal**. v. 30, n.5, p. 47-54, 1980.

PEREIRA, J.C.; TOMASELLI, I. A influência do desbaste na qualidade da madeira de *Pinus elliottii* Engelm var. *elliottii*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 49, p. 61-81, 2004.

PLETZ, E.; PURIFICAÇÃO, C.S.; GAVIOLI, A.P.T. Efeito da variação do teor de umidade sobre a rigidez de vigas de madeeira. In: X ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2006, São Pedro, **Caderno de Resumos...** São Pedro, Instituto Brasileiro da Madeira e das estruturas de Madeira, 2006, p.73.

RAVENSHORST, G.J.P.; VAN DE KUILEN J.W.G; BRUNETTI, M.; CRIVELLARO, A. Species independent machine stress grading of hardwoods. In: WORLD CONFERENCE ON TIMBER ENGINEERING, 10., Miyazaki. **Proceedings...** Miyazaki: Curran Associates, 2008.

REZENDE, M.A.; SAGLIETTI, J.R.C.; GUERRINI, I.A. Estudo das interrelações entre massa específica, retratibilidade e umidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* aos 8 anos de idade. **IPEF**, n. 48-49, p. 133-141, 1995.

RIBEIRO, P.G. **Utilização de técnicas não destrutivas para caracterização de madeiras de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e de *Eucalyptus grandis***. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

SAMPIERI, R.H.; COLLADO, C.F.; LUCIO, P.B. **Metodologia da Pesquisa**. 3ª ed. São Paulo: MC Graw-Hill, 2006, 608p

SANTINI, E.J. **Alternativas para o monitoramento e controle do processo de secagem de madeira serrada em estufa**. 198 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996.

SANTINI, E.J.; HASELEIN, C.R.; GATTO, D.A. Análise comparativa das propriedades físicas e mecânicas da madeira de três coníferas de florestas plantadas. **Ciência Florestal**, v.10, n.1, p.85-93 85, 2000.

SILVA, J.C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira**. 179 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

SIMPSON, W.T. **Dry kiln operator's manual**. Madison: United States Department of Agriculture - USDA, 1991. 274 p.

SKAAR, C. **Wood-water relations**. New York: Springer-Verlag, 1988. 283 p.

STAMM, A.J. **Wood and cellulose science**. New York: Ronald Press, 1964. 549 p.

SENFT, J.F.; BENDTSEN, B.A.; GALLIGAN, W.L. Weak wood. **Journal of Forestry**, v.83, n.8, p. 476-485, 1985.

SERPA, P.N.; VITAL, B.R.; DELLA LUCIA, R.M.; PIMENTA, A.S. Avaliação de algumas propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*. **Árvore**, v. 27, n. 5, p. 723-733, 2003.

SHIMIZU, J.Y.; SEBBENN, A.M. Espécies de *Pinus* na silvicultura brasileira. In: SHIMIZU, J.Y. (Ed.). **Pinus na silvicultura brasileira**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. p. 49-74.

SHIMOYAMA, V.R.S. **Estimativas de propriedades da madeira de *Pinus taeda* através do método não destrutivo de emissão de ondas de tensão, visando a geração de produtos de alto valor agregado**. 151 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2005.

SIAU, J.F. **Transport process in wood**. New York: Spring-Verlag, 1984. 245 p.

SKAAR, C. **Water in wood**. New York: Syracuse University Press. 1972. 218 p.

STATGRAPHICS. Centurion XVI **User Manual**. by StatPoint Technologies, Inc. 2009.

TOMASELLI, I. KLITZKE, R.J. **Secagem da madeira**. Fundação Hugo Simas: UFPR, Lages, 2000.

TSOUMIS, G. T. **Science and technology of wood**: structure, properties, utilization. New York: Chapman e Hall, 1991. 479 p.

VALE, A.T.; BRASIL, M.A.M.; MARTINS, I.S. Variação axial da densidade básica da madeira de *Acacia mangium* Willd aos sete anos de idade. **Ciência Florestal**, v. 9, n. 2, p. 85-92, 1999.

WANG, S.Y.; LIN, C.J.; CHIU, C.M.; CHEN, J.H.; YUNG, T.H. Dynamic modulus of elasticity and bending properties of young Taiwania trees grown with different thinning and pruning treatments. **Journal of Wood Science**, n. 51, p. 1-5, 2005.

WANGAARD. F.F. **The mechanical properties of Wood**. Chapman Hall, London 1950, 377 p.

ZOBEL, B. Wood quality from fast-grown plantations. **TAPPI**, v. 64, n. 1, p. 71-74, 1981.

ZOBEL, B.J. The changing quality of the world wood supply. **Wood Science and Technology**, n.18, n.1, p.1-17, 1984.

ZOBEL, B.J.; BUIJTENEN, J.P. **Wood variation**: its causes and control. Berlin: Springer-Verlag, 1989. 361 p.

CAPÍTULO 9

AVALIAÇÃO CONVENCIONAL E NÃO DESTRUTIVA DA MADEIRA DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS PARA USO ESTRUTURAL

CAPÍTULO 9

AVALIAÇÃO CONVENCIONAL E NÃO DESTRUTIVA DA MADEIRA DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS PARA USO ESTRUTURAL

9.1 INTRODUÇÃO

A utilização da madeira em maior escala e com maior intensidade para as diversas finalidades industriais só pode ocorrer a partir do conhecimento de seu comportamento e de suas propriedades, sejam elas físicas, mecânicas, químicas ou anatômicas. Por ser elemento de natureza orgânica, este material apresenta uma enorme versatilidade de uso para obtenção de diversos produtos, podendo esta diversidade de produtos ser ampliada ainda mais com o estudo de espécies pouco conhecidas tecnologicamente e com o desenvolvimento ou incorporação de novas tecnologias à produtos e processos.

Entre as diversas possibilidades de uso da madeira, a aplicação em fins estruturais merece considerável atenção e destaque, além de maiores estudos e esforços a fim de ampliar seu emprego.

Com as restrições impostas ao uso de florestas nativas em todo o país, principalmente em relação às madeiras provenientes da floresta amazônica, a demanda por madeira serrada para fins estruturais no Sul e Sudeste do Brasil fez com que o mercado adotasse para consumo, várias madeiras oriundas de florestas plantadas, entre elas de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*. Estas espécies apresentaram-se inicialmente muito inferiores às folhosas, as quais eram largamente utilizadas, no entanto, o desenvolvimento de pesquisas relacionadas às propriedades de suas madeiras foram, e vêm, aos poucos, mudando a visão a respeito de sua qualidade, além de reduzir o preconceito quanto ao seu emprego em finalidades estruturais.

Por outro lado, torna-se necessário, não somente estudos relacionados a qualidade da madeira e desenvolvimento de técnicas e produtos estruturais com estas duas espécies, mas também e principalmente, pesquisas relacionadas a

introdução de outras espécies do gênero *Pinus*, bem como qualificação da madeira destas espécies para aplicações estruturais, seja na forma de madeira sólida ou de produtos reconstituídos. Em hipótese nenhuma a variabilidade e a peculiaridade destas espécies, quando comparadas com espécies tradicionalmente utilizadas para finalidades estruturais pode ser entendida como uma característica de inviabilização do uso da madeira como material estrutural, e sim deve ser estudada e entendida para garantir sua boa e correta aplicação.

A incorporação de espécies alternativas ao processo de escolha e especificação da madeira empregada para fins estruturais, principalmente na construção civil, em contraposição aos aspectos ambientais causado pelo uso excessivo e constante de determinadas espécies, se traduz em um importante passo para o setor produtivo que mais consome este insumo no país para a preservação e sustentabilidade das florestas brasileiras (IPT 2009).

Desta forma, além de estudar e compreender o comportamento deste gênero a partir de metodologias convencionais torna-se necessário também, desenvolver métodos de avaliação da qualidade da madeira a partir de tecnologias não destrutivas.

A avaliação da qualidade da madeira por meio de técnicas não destrutivas é de grande relevância tanto para a silvicultura como para indústria madeireira, pois permite obter uma série de vantagens, como por exemplo, maior facilidade de execução já que não é necessário extração de corpos de prova, rapidez na obtenção dos resultados, custo relativamente baixo, além de utilização posterior, pois não há comprometimento do material avaliado.

Entre as diversas tecnologias não destrutivas, merecem destaque as baseadas no fenômeno acústico, entre elas a emissão de ondas de tensão, a qual permite a classificar a madeira em classes de qualidade e estimar o módulo de elasticidade dinâmico, além de ser amplamente aceita e difundida não só na avaliação da qualidade da madeira, mas também na avaliação de produtos de madeira.

O desenvolvimento desta técnica contribuiu significativamente para a aceitação da madeira em aplicações estruturais, especialmente em alguns países, onde a classificação de peças a partir desta metodologia permite a melhoria da

eficiência e qualidade das estruturas de madeira, além da possibilidade de melhoria do processo de avaliação mecânica.

Em virtude da importância da avaliação de novas espécies para fins estruturais, bem como, aplicação de tecnologias não destrutivas para avaliação da qualidade da madeira, este trabalho busca respostas para os objetivos abaixo relacionados.

9.1.1 Objetivo geral

Avaliar a resistência da madeira de sete espécies de Pinus tropicais para aplicações estruturais através de ensaios convencionais e não destrutivos.

9.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar a resistência da madeira de Pinus tropicais por meio do ensaio convencional estrutural de flexão estática.
- Avaliar a eficiência de uso do método não destrutivo de propagação de ondas de tensão a partir de sua relação com os resultados obtidos pelo método destrutivo.
- Avaliar a influência da orientação da grã sobre as propriedades de resistência e rigidez.
- Avaliar a influência da posição radial sobre as propriedades de resistência e rigidez e sobre a massa específica.
- Avaliar a influência da orientação dos anéis de crescimento sobre as propriedades de resistência e rigidez.

9.2 REVISÃO DE LITERATURA

9.2.1 Madeira na construção civil

A madeira possui diversas características que a tornam muito atraente frente a outros materiais, entre elas, o baixo consumo de energia para seu processamento, a alta resistência específica, as boas características de isolamento térmico e acústico, fácil trabalhabilidade, além da possibilidade de produção sustentada das florestas nativas e plantadas (ZENID, 1997; ANDRIGHETTO; ANDRADE, SZÜCS, 2006).

Quando utilizada na fabricação de bens duráveis como móveis, objetos de decoração e na construção civil, se constitui numa ferramenta de fixação de carbono, contribuindo para a redução do aquecimento global (IPT 2009). No entanto, a pouca utilização da madeira de florestas plantadas para a construção civil segundo Laroca (2002), se deve à falta de informações das possibilidades de uso da madeira de qualidade. Zenid (1997) em complemento, relata que o desconhecimento das propriedades da madeira por muitos de seus usuários e a insistência em métodos de construção antiquados, são as maiores causas de desempenho insatisfatório da madeira frente a outros materiais. Segundo este mesmo autor, esta situação, a qual foi herdada dos colonizadores espanhóis e portugueses, gerou na América Latina, um preconceito generalizado em relação ao uso mais intensivo da madeira na construção civil.

Por outro lado, em países como os Estados Unidos, Canadá, Austrália e Japão, a madeira é muito utilizada na construção de habitações apresentando resultados satisfatórios (CUNHA; MATOS, 2010a). Assim, a utilização e consequentemente intensificação deste material na construção civil brasileira, aos pouco precisa ser modelada.

A incorporação de espécies alternativas ao processo de escolha e especificação da madeira empregada nas atividades de construção civil, em contraposição aos aspetos ambientais causado pelo uso excessivo e constante de determinadas espécies, se traduz em importante passo para o setor produtivo que

mais consome este insumo no país para a preservação e sustentabilidade das florestas brasileiras (IPT 2009).

Segundo Lucas Filho (1997), a grande demanda por madeira serrada para fins estruturais fez com que o mercado adotasse para consumo várias madeiras provenientes de florestas plantadas, entre elas de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* como alternativa a várias madeiras de folhosas.

Apesar da madeira de *Pinus* possuir resistência mecânica inferior em relação à madeiras nobres quando utilizada como produtos sólidos, características como homogeneidade e massa específica qualificam o material, facilitando a trabalhabilidade e o tratamento com produtos preservantes (SILVA; SZÜCS, 1998).

De acordo com Gonzaga (2006) diferentes tecnologias têm sabido tirar proveito desta madeira, considerada “fraca”, como por exemplo, vigas estruturais de alta resistência e baixo peso, produzidas a partir de lamelas coladas. Segundo este mesmo autor, o *Pinus* substitui ainda as madeiras nativas e tropicais nas formas de concreto, ocupa o lugar das madeiras de lei em estruturas por meio de vigas coladas, como já mencionado, e é capaz de suportar ambientes agressivos se tratada corretamente.

Por outro lado, mesmo com todo este avanço, um aspecto merece considerável atenção. Atualmente as principais pesquisas e documentos normativos, utilizam valores de resistência determinados por meio de ensaios com amostras de pequenas dimensões, as quais apesar de serem de mais fácil execução e exigirem um recurso financeiro menor, principalmente em relação ao equipamento de ensaio e material, não retratam a realidade das propriedades mecânicas do material avaliado (FIORELLI; DIAS; COIADO, 2009), sendo então necessário o desenvolvimento de pesquisas a partir de peças com dimensões estruturais, que mais se assemelham a real condição de uso, bem como a avaliação do comportamento das diversas características da madeira sobre as propriedades mecânicas, nesta condição.

9.2.1.1 Principais fatores que afetam as propriedades da madeira para uso estrutural

Os parâmetros relacionados à resistência e rigidez das peças são os mais importantes na utilização da madeira como material de construção (CALORI; KIKUTI, 1997), no entanto, Lahr e Mascia (1986) ressaltam que mesmo a madeira sendo um dos materiais mais utilizados para a construção de estruturas, ela não é perfeitamente caracterizada, sendo necessário, o conhecimento mais amplo das propriedades relacionadas a resistência e rigidez, os quais irão permitir com maior exatidão o comportamento dos elementos estruturais.

Neste contexto, muitos são os fatores que afetam as propriedades da madeira para uso estrutural. Entre os principais fatores pode-se destacar a massa específica o teor de umidade, percentual de lenho tardio e madeira juvenil.

A respeito da massa específica, a qual se encontra descrita mais detalhadamente no Capítulo 7, sua influência sobre as propriedades mecânicas diz respeito sobre a sua adaptabilidade como material para fins estruturais (TRENDELEMBURG; MAYER-WEGELIN, 1955¹, citado por KLOCK, 1989), sendo a propriedade mais significativa para caracterização de madeiras para esta finalidade.

Em relação ao teor de umidade, seu efeito está relacionado à evaporação da água presente na parede celular, a qual promove a aproximação das fibrilas, e com isso alterações significativas nas propriedades físicas e mecânicas da madeira (PANSIN; DE ZEEW, 1980; GEHRARDS, 1982; TSOUMIS, 1991, GALVÃO; JANKOWSKY, 1988; SKAAR, 1972; SIMPSON, 1991; HAYGREEN; BOWYER, 1996; SANTINI, 1996; TOMASELLI; KLITZKE, 2000). As variações dimensionais ocasionadas pela redução do teor de umidade é uma característica indesejável (DURLO; MARCHIORI, 1992), no entanto, seu estudo é essencial para a utilização da madeira na construção civil (REZENDE; SAGLIETTI; GUERRINI, 1995).

Já o lenho tardio é coincidente com a massa específica e apresenta significativa afinidade com as propriedades de resistência (GURFINKEL, 1973; MORESCHI, 1975).

¹ TRENDELEMBURG, R.; MAYER-WEGELIN, H. **Das holz als rohstoff**. München, Verlag, 1955. 541 p.

Além destes fatores, existem muitos outros que afetam as propriedades mecânicas da madeira devido à sua grande complexidade, no entanto alguns deles merecem consideração especial, como por exemplo, inclinação da grã, presença de nós, posição radial e orientação dos anéis de crescimento, sendo apresentados sucintamente a seguir.

9.2.1.1.1 Inclinação da grã

A grã está relacionada à orientação dos elementos constituintes do lenho em relação ao eixo da árvore e decorre do processo de crescimento sob as mais diversas influências (TSOUMIS, 1991; BURGER; RICHTER, 1991). A orientação da grã muitas vezes proporciona aspectos atrativos e decorativos à madeira, no entanto, pode ocasionar anormalidades estruturais (TSOUMIS, 1991), afetando significativamente as propriedades, onde quanto maior for o desvio, menor a resistência mecânica e mais acentuada a ocorrência de defeitos de secagem (BURGER; RICHTER, 1991), maior fragilidade e tendência a distorção com mudanças no teor de umidade (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968; GURFINKEL, 1973; IWAKIRI, 1982; KLOCK, 2000; CASTELO, 2007).

Desta forma, o conhecimento do ângulo de grã é uma informação muito útil na segregação de peças que serão utilizadas em propósitos estruturais, já que as propriedades de resistência e rigidez também estão correlacionadas ao ângulo da grã em direção ao esforço (ABRAHÃO, 2005). Iwakiri (1982) complementa o efeito da inclinação da grã relatando que se um elemento contendo fibras a um determinado ângulo do eixo longitudinal é sujeito a esforços de tração ou compressão, o efeito dos componentes da força acompanha a direção da grã e a madeira se torna mais fraca nesta direção do que ao eixo longitudinal da peça.

De acordo com Knigge e Schultz (1966)² citados por Klock (2000) e por Castello (2007) uma pequena modificação na inclinação da grã resulta em acentuada perda de resistência, sendo a tração a propriedade mais afetada, seguida das propriedades de flexão estática e compressão.

² KNIGGE, W.; SCHULTZ, H. **Growndise der Forestbenutzung**. Verlag Paul Parey, Hamburg and Berlin. 1966. 584p.

Segundo o FPL (1955) a magnitude da influência do ângulo da grã sobre as propriedades de resistência da madeira é expressa pela razão entre o desvio de uma polegada a partir da borda ou do eixo da peça e da distância dentro da qual ocorre este desvio. Assim, a Tabela 9.1 apresenta a relação entre variação de resistência e desvio de grã obtida por este mesmo laboratório a partir diversas espécies.

TABELA 9.1 – VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DA MADEIRA EM RELAÇÃO AO ÂNGULO DE GRÃ

Desvio da grã	Flexão Estática	
	Módulo de Ruptura (%)	Módulo de Elasticidade (%)
Grã reta	100	100
1" em 25"	96	97
1" em 20"	93	96
1" em 15"	89	94
1" em 10"	81	89
1" em 5"	55	67

Fonte: FPL (1955) adaptado.

Segundo o FPL (1955) devido as considerações práticas para classificação das madeiras segundo o desvio da grã, a qual é fator limitante para usos estruturais, a determinação deste desvio é efetuada na face com maior declive. Iwakiri (1982) relata ainda, que o efeito da inclinação da grã sobre as propriedades de resistência é maior em membros estruturais do que em pequenos corpos de prova.

9.2.1.1.2 Presença de nós

Durante o crescimento de qualquer árvore há a formação de galhos, os quais através de suas folhas e do processo de fotossíntese mantêm a árvore viva e

promovem seu desenvolvimento. Assim, o nó é definido como uma inclusão da parte basal de um ramo no tronco de uma árvore (TSOUMIS, 1991).

A presença de nós induz a uma variabilidade nas propriedades da madeira e consequentemente reduz sua qualidade, principalmente em produtos sólidos, onde o grau de variação e a qualidade são determinados pelas suas características (CHIES, 2005; CASTELO, 2007). Tsoumis (1991) complementa ainda, que a presença de nós além de reduzir consideravelmente a resistência, afeta o processamento mecânico, a secagem e a colagem da madeira. Em relação à resistência mecânica, a redução ocorre devido a interrupção da continuidade e mudança na direção das fibras em torno do mesmo (IWAKIRI, 1982), além de elevado ângulo de grã e irregularidade nos anéis de crescimento.

Em elementos com dimensões estruturais, o efeito dos nós na resistência das peças é dependente do tamanho do nó em relação a seção transversal da peça, sendo mais desejável se ter nós pequenos e frequentes ao invés de nós grandes e menos frequentes (BAMBER; BURLEY, 1983; KLOCK, 1989; KLOCK, 2000; CHIES, 2005). Larson, Nichols e Dadswell (2001) complementam ainda, que nós de grandes dimensões classificam a madeira como de menor qualidade, principalmente em espécies de rápido crescimento.

Nas peças sujeitas a flexão estática, os esforços são maiores na proporção média do comprimento e nas partes extremas da altura, logo o maior efeito do nó sobre a resistência ocorre quando o mesmo é encontrado nestas regiões (KOLLMANN; CÔTÉ; 1968; IWAKIRI, 1982). Em vigas, longarinas, caibros ou pranchas, a influência da presença de nós na resistência a flexão é bastante elevada, e como já mencionado, a magnitude desta influência está relacionada ao tamanho do nó presente na peça (FPL, 1955). Assim, a Tabela 9.2 apresenta o percentual da resistência (%) de acordo com o tamanho do nó e da largura da peça, quando comparada com uma peça isenta de defeitos.

TABELA 9.2 – RELAÇÃO ENTRE RESISTÊNCIA (%), TAMANHO DO NÓ E LARGURA DA PEÇA ESTRUTURAL

Tamanho do nó (mm)	Largura da peça						
	50,8mm (2")	101,6mm (4")	152,4mm (6")	203,2mm (8")	254,0mm (10")	304,8mm (12")	406,4mm (16")
0	100	100	100	100	100	100	100
9,5	83	92	94	95	96	96	97
12,7	77	88	92	93	94	95	95
15,9	71	85	90	92	92	93	94
22,2	58	79	86	88	89	90	91
31,8	26	70	80	83	84	86	88
41,3		60	74	77	80	81	84
50,8		51	67	72	75	77	80
76,2			51	57	62	65	70
87,7				50	55	59	65
98,4					50	55	61
108,0						50	57
123,8							51

Fonte: FPL (1955) adaptado.

Segundo Tsoumis (1991) madeira livre de nós é encontrada somente na porção mais baixa do tronco da árvore, onde ocorre desrama natural ou a floresta passa por práticas silviculturais de poda. As espécies de *Pinus* introduzidas no Brasil apresentam desrama natural pobre, tornando necessária a utilização da desrama artificial como meio de produzir rapidamente árvores de maiores diâmetros, com madeira de melhor qualidade (SCHILLING *et al.*, 1998). Além disso, possuem grande propensão a produção de galhos, resultando em produção de madeira com muitos nós (KLOCK, 1989; KLOCK, 2000; CHIES, 2005). Devido a este fato, Carreira e Dias (2005) relatam que para a utilização da madeira proveniente destas florestas

é imprescindível a realização de uma classificação antes de ser aplicada como componente estrutural.

9.2.1.1.3 Posição radial

A influência da posição radial sobre as propriedades da madeira, assim como a longitudinal, está relacionada à idade das árvores e conseqüentemente a massa específica. Nas coníferas, a posição longitudinal proporciona uma redução da massa específica no sentido base-topo, e um aumento no sentido medula-casca (KOLLMANN, 1959; PANSHIN; DE ZEEUW, 1980; KLOCK, 2000).

De acordo com Larson, Nichols e Dadswell (2001) tanto o módulo de ruptura quanto o módulo de elasticidade possuem elevada correlação com a massa específica, e como a massa específica também sofre influência da madeira juvenil, pode-se dizer que tanto a resistência quanto a rigidez são influenciadas pela madeira juvenil.

Segundo Serpa *et al.* (2003), para obtenção de madeira com maior massa específica, mais estável e com maior resistência à flexão, é necessário realizar a colheita de árvores mais velhas, pois estas tendem a possuir uma porcentagem maior de madeira adulta.

Em peças estruturais que possuem uma determinada quantidade de madeira juvenil, a resistência se apresenta inferior, por este motivo, avaliar se a peça provém de lenho juvenil ou adulto é fundamental para a correta utilização da madeira (MCALISTER; CLARK, 1991; GEIMER, HERIAN; XU, 1997; LUCAS FILHO, 1997). Klock (1989) descreve ainda, a necessidade de levar em conta a variação existente entre madeira juvenil e madeira adulta nas espécies de *Pinus* para o cálculo das tensões admissíveis, visando a classificação da madeira em classes de qualidade.

De acordo com Kretschmann (1998) o efeito da madeira juvenil sobre a resistência final continua a ser motivo de preocupação. Segundo este mesmo autor, recentes pesquisas mostram que a madeira proveniente de árvores jovens, caracterizada como madeira juvenil, pode apresentar entre 50% a 70% apenas da resistência e rigidez da madeira adulta, dependendo da classe ou da espécie, e

Brown e McWilliams (1989) complementam que os produtos sólidos gerados com este tipo de madeira podem resultar em grandes problemas na qualidade.

A Figura 9.1 apresenta as características da madeira em relação a zona juvenil e adulta.

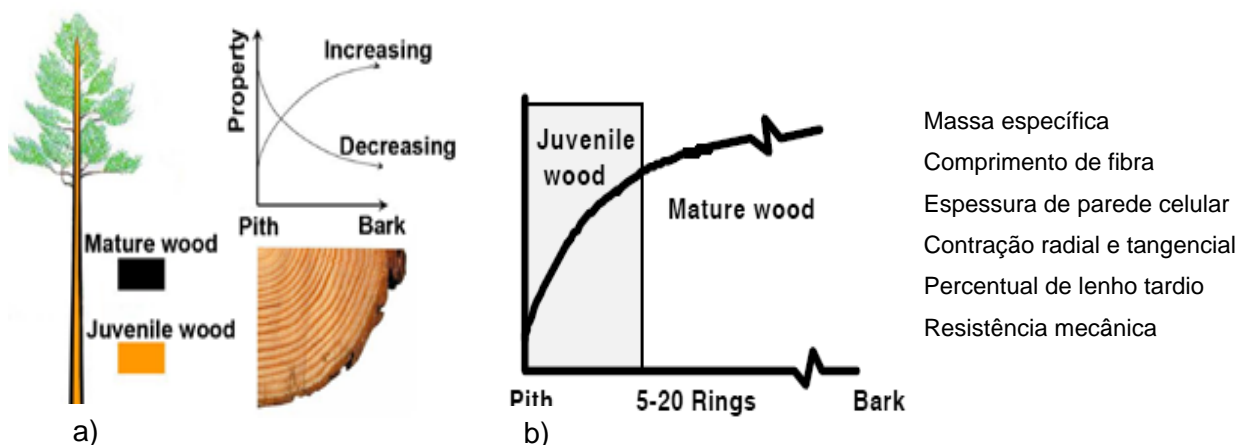


FIGURA 9.1 – CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA DE CONÍFERAS EM RELAÇÃO A ZONA JUVENIL E ADULTA

Fonte: a) KRETSCHMANN (2010); b) KRETSCHMANN (1998), adaptado.

9.2.1.1.4 Orientação dos anéis de crescimento

Em relação ao comportamento da resistência da madeira em função da orientação dos anéis de crescimento poucos trabalhos têm sido conduzidos, o que torna bastante difícil esclarecer suas propriedades frente às diversas solicitações.

De acordo com o FPL (1955, 1999), algumas espécies não apresentam diferenças em suas propriedades em função da orientação dos anéis de crescimento. Outras demonstram um ligeiro aumento no cisalhamento paralelo ou na tração perpendicular a grã para peças orientadas a 0° em relação aos anéis quando comparadas com uma orientação a 90° , sendo a relação inversa também válida. Já o efeito da orientação intermediária do anel de crescimento (45°) tem sido estudado de forma mais limitada ainda. O módulo de elasticidade, a tensão no limite proporcional em compressão perpendicular e a tração perpendicular, tendem ser

aproximadamente a mesma a 45° e a 0°, mas para algumas espécies, estes valores são de 40% a 60% inferiores quando a orientação é 45°. Assim, as espécies que apresentam propriedades inferiores com orientação a 45°, tendem a apresentar propriedades iguais quando as orientações são 0° e 90° e as que possuem propriedades iguais a 0° e 45° de orientação tendem a apresentar propriedades mais elevadas na orientação a 90°.

Lahr e Mascia (1986) complementam as informações correlatas à influência da posição dos anéis de crescimento sobre o módulo de ruptura e o módulo de elasticidade, relatando a partir de seu experimento com espécies folhosas, que não existe a necessidade de orientar a posição dos anéis de crescimento no momento do ensaio.

9.2.2 Métodos não destrutivos para avaliação da madeira utilizada na construção civil

A avaliação não destrutiva compreende o uso de um ou mais métodos para identificação das propriedades físicas e mecânicas de um material, sem comprometimento do seu uso final, além de utilizar estas informações para fazer inferências e tomar decisões sobre as aplicações mais adequadas, desempenho e condição do material avaliado (ROSS, 1992; ROSS, 1998; ROSS; BRASHAW; PELLERIN, 1998; SÚCZS *et al.*, 1999; MATOS, 2002; PUEHRINGER, 2002; CHIES, 2005; SHIMOYAMA, 2005; CASTELO, 2007).

Embora utilizados para o estudo dos mais variados tipos de materiais, os métodos não destrutivos utilizados na madeira diferem em seu propósito daqueles empregados em materiais homogêneos e isotrópicos, como metais, cerâmicas, polímeros, etc, os quais são utilizados para detectar a presença de irregularidades. Na madeira, como as irregularidades, descontinuidades e vazios ocorrem naturalmente, sendo uma característica intrínseca do material ou de sua interação com o meio, os ensaios não destrutivos em geral são utilizados para avaliar como estas irregularidades afetam as propriedades mecânicas (GABRIEL, 2000).

As hipóteses fundamentais para ensaios não destrutivos foram estabelecidas por Jayne em 1959, onde este pesquisador propôs que as propriedades de conservação e dissipação de energia da madeira são controladas pelos mesmos mecanismos que determinam o comportamento estático estrutural do material, sendo estabelecidas relações matemáticas entre as propriedades de conservação e dissipação de energia e a resistência e elasticidade da madeira (MATOS, 1997, GABRIEL, 2000; PUEHRINGER, 2002; SHIMOYAMA, 2005; CHIES, 2005; CASTELO, 1997; NOGUEIRA; BALLARIN, 2008).

A literatura descreve diversos métodos não destrutivos para avaliação da qualidade da madeira, podendo-se citar as técnicas baseadas em raio x, tomografia e difração, ressonância magnética, análise de vibrações, espectroscopia, métodos ultra-sônicos, etc.

As tecnologias baseadas no fenômeno da acústica tornaram-se amplamente difundidas e aceitas na avaliação da qualidade e classificação da madeira e de produtos de madeira (JUNG, 1979; GERHARDS, 1982; ROSS; PELLERIN, 1988; DIVÓS, DANIEL, BEJÓS, 2000; WANG *et al.*, 2004, ZHANG; WANG; SU, 2011).

Segundo Galligan (1964), Matos (1999; 2002), o método não destrutivo de ondas acústicas, baseado na relação existente entre velocidade do som, módulo de elasticidade e massa específica, tornou-se de grande interesse, devido aos excelentes resultados obtidos em algumas pesquisas. Em consequência destes estudos, o uso de relações matemáticas entre estas propriedades e o comportamento elástico e de resistência poderiam ser obtidos através do uso de técnicas de regressão. Esta teoria evoluiu para aplicações industriais mais significativas, atualmente em uso: como a máquina de avaliação de classes de resistência de madeira estrutural e classificação ultra sônica de lâminas. O desenvolvimento destas duas técnicas contribuiu significativamente para a aceitação da madeira em aplicações estruturais.

Diversos estudos relacionados a aplicação de tecnologias acústicas para avaliação da qualidade da madeira, mais precisamente para determinar o módulo de elasticidade dinâmico, foram efetuados com grande êxito, obtendo-se coeficientes de correlações significativos e elevados. A efetividade destes métodos é determinada de acordo com sua relação com os dados obtidos pelos métodos

destrutivos (BODIG, 2000). Na Tabela 9.3 são apresentados alguns estudos e seus respectivos coeficientes de correlações entre o módulo de elasticidade dinâmico, obtido pelo método acústico de propagação de ondas de tensão e os ensaios convencionais.

TABELA 9.3 - CORRELAÇÕES ENTRE MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO OBTIDO PELO MÉTODO DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS DE TENSÃO E ENSAIOS CONVENCIONAIS.

Fonte	Material avaliado	Ensaio	r *
Bell <i>et al.</i> , (1954)	Madeira sólida sem defeitos	Compressão	0,98
		Flexão	0,98
Galligan; Courteau (1965)	Madeira serrada	Flexão	0,96
Kock; Woodson (1968)	Lâminas	Tração	0,94 – 0,96
Porter <i>et al.</i> , (1972)	Madeira serrada	Flexão	0,90 – 0,92
Pelerin; Galligan (1973)	Madeira serrada	Flexão	0,96
Mcalister (1976)	Madeira serrada	Tração	0,96
Gerhards (1982)	Madeira serrada com nós	Flexão	0,87
	Madeira serrada sem defeitos	Flexão	0,95

r*: Coeficiente de correlação

Fonte: ROSS; PELLERIN (1994).

Desta forma, quando aplicada esta tecnologia em peças com dimensões estruturais, pode-se obter inúmeras vantagens e informações. Segundo Sales *et al.* (2006), a classificação de peças estruturais permite a melhoria da eficiência e qualidade das estruturas de madeira. Esta classificação pode melhorar o processo de avaliação mecânica, não sendo necessário a extração de corpos de prova, apresentando além disso, facilidade de execução e o baixo custo.

9.3 MATERIAIS E MÉTODOS

A determinação das propriedades mecânicas em amostras estruturais foi efetuada a partir do material coletado conforme já descrito ao longo dos capítulos anteriores. Como na confecção dos corpos de prova para os ensaios mecânicos relatados no Capítulo 8, os corpos de prova para os ensaios estruturais foram confeccionados a partir de pranchas, obtidas após o desdobro principal.

A Figura 9.2 demonstra o processo para obtenção das pranchas.



FIGURA 9.2 – DESDOBRO PRINCIPAL PARA OBTENÇÃO DAS PRANCHAS
a) Seleção e identificação das toras; b) Desdobro principal; c) Refilagem das pranchas; d) Pranchas

As pranchas foram transportadas a Universidade Federal do Paraná e mantidas em ambiente coberto e ventilado para a redução do teor de umidade. Após atingir a umidade de equilíbrio, foram processadas mecanicamente para obtenção das amostras estruturais, de acordo com as dimensões preconizadas pela ASTM D-198, totalizando entre 30 e 40 amostras por espécie. Posteriormente foram conduzidas a ambiente climatizado ($20^{\circ} \pm 2^{\circ} \text{ C}$ e $65\% \pm 5\%$) para finalização da climatização e equalização do teor de umidade.

A Figura 9.3 demonstra o processo de confecção das amostras estruturais (vigas).



FIGURA 9.3 – CONFECÇÃO DAS AMOSTRAS ESTRUTURAIS (VIGAS)

a) Determinação da largura das vigas; b) Determinação da espessura das vigas

Após a confecção dos corpos de prova foi determinado o ângulo da grã. Embora seja definido o plano tangencial para a leitura de ângulo de grã, já que representa a possibilidade de confronto com medições executadas nas árvores em pé, devido a forma de desdobro para a obtenção dos corpos de prova, não foram obtidas somente peças tangenciais para o ensaio, onde a metodologia de medição foi efetuada tanto em amostras tangenciais e radiais, de acordo com o plano em que seria aplicada a carga. O procedimento foi efetuado por meio de um aparato com uma agulha fixada na extremidade, a qual percorreu o sentido do esforço manual, acompanhando a grã. O local da leitura ocorreu exatamente na parte central do corpo de prova, onde foi aplicado o carregamento para determinação da resistência e da rigidez, e conseqüentemente estabelecer possíveis relações entre as

propriedades da madeira. O ângulo de grã foi estabelecido por meio de relações trigonométricas.

Foi também avaliada a ocorrência de nós, tendo em vista que ensaios estruturais requerem peças com dimensões maiores, não sendo possível selecionar somente peças isentas de defeitos. A determinação da resistência e rigidez do material com ocorrência de nós foi também efetuada com o objetivo de simular as condições reais de uso da madeira em sua respectiva aplicação. A quantificação destas características ocorreu por meio de paquímetro de precisão, resumindo-se na determinação do diâmetro médio dos nós e sua respectiva área, frequência e área dos nós por m^2 . O diâmetro médio e a área média dos nós foram determinados de acordo com o valor médio destas características encontradas em cada espécie. Já a frequência e a área dos nós por m^2 , foram calculadas de acordo com a área total das peças avaliadas.

Após a avaliação dos nós foi também efetuada a avaliação das propriedades por métodos não destrutivos a partir dos equipamentos Stress Wave Timer e Stress Grading Machine. O Stress Wave Timer foi utilizado para determinar a velocidade de propagação das ondas de tensão, sendo obtido a partir desta informação, o módulo de elasticidade dinâmico. O equipamento Stress Grading Machine foi usado para a pré-classificação das vigas a partir da deformação medida. Segundo Wangaard (1950) a partir de diferentes deformações para materiais com mesmas dimensões podem ser realizadas comparações, e a partir da deformação de cada peça estimar sua resistência ou então classificar em classes de qualidade. No presente trabalho a deformação medida foi utilizada para estabelecer coeficientes de correlação sugerindo uma forma prática e segura para a classificação de peças quanto à resistência nas aplicações estruturais.

Os corpos de prova obtidos passaram ainda por uma classificação de acordo com a posição radial³, a fim de determinar a variação do módulo de ruptura e do módulo de elasticidade em amostras na região interna (próxima a medula) e região externa (próximo a casca) e por uma classificação quanto à orientação dos anéis de crescimento, a fim de avaliar a influência do sentido tangencial e do sentido radial nas propriedades de resistência e rigidez.

³ A posição radial é classificada quanto região interna (próximo a medula) e região externa (próximo a casca), por não ser possível classificar em madeira juvenil e adulta.

O módulo de ruptura e o módulo de elasticidade foram obtidos de acordo com a norma ASTM D198, a qual visa a determinação das propriedades de flexão para vigas estruturais de madeira sólida ou laminada, ou ainda componentes estruturais.

A Figura 9.4 apresenta os procedimentos relacionados a esta etapa experimental.



FIGURA 9.4 – MEDIÇÃO, ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E ENSAIOS CONVENCIONAIS REALIZADOS NAS AMOSTRAS ESTRUTURAIS

a) Determinação do ângulo de grã; b) Medição dos nós; c) Determinação do módulo de elasticidade dinâmico; d) medição da deformação; e, f) Ensaio de flexão estática convencional.

9.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

9.4.1 Ângulo de grã

Na Tabela 9.4 são apresentados os resultados médios obtidos para o ângulo de grã a partir das amostras estruturais.

TABELA 9.4 – ÂNGULO DE GRÃ DAS ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

Espécie	Ângulo de grã (°)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	2,81 abc (46,75)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	2,44 bc (71,27)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	3,68 ab (35,29)
<i>Pinus chiapensis</i>	2,25 c (67,41)
<i>Pinus maximinoi</i>	2,90 abc (60,28)
<i>Pinus oocarpa</i>	4,07 a (43,31)
<i>Pinus tecunumanii</i>	3,80 ab (48,52)
<i>Pinus taeda</i>	3,78 ab (59,48)
<i>p</i>	0,000*

Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna são estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade; *Significativo a 5% de probabilidade; valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras.

Conforme pode ser notado, a espécie que apresentou o maior ângulo médio de grã foi *Pinus oocarpa*, com valor médio de 4,07°, onde este valor é estatisticamente diferente dos valores apresentados pelas espécies *Pinus caribaea*

var. caribaea e *Pinus chiapensis*. Em relação à espécie utilizada como testemunha, somente o *Pinus chiapensis* apresentou diferença estatística significativa.

De acordo com Cown (1992) ângulos de grã superiores a 4° são considerados elevados, podendo gerar problemas de torção na madeira e sérios defeitos durante o processo de secagem. Comparando este valor com os resultados obtidos para as espécies estudadas, verifica-se que apenas o *Pinus oocarpa* foi ligeiramente superior, o que leva a concluir que as mesmas tendem a estabilidade em termos de torção e com menor tendência de surgimento de defeitos de secagem.

Comparando estes resultados com os valores reportados na literatura, verifica-se que os valores médios apresentam-se no intervalo de variação apresentado por Gerhards (1881), que em estudo da qualidade da madeira de Douglas-fir encontrou ângulos de grã no intervalo de 1,9° a 9,5°, e aos descritos por Cown, McConchie e Young (1983) que avaliando as propriedades da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* oriunda das Ilhas Fiji, obtiveram ângulo de grã variando entre 1° e 12°, no entanto, aproximadamente 70% dos valores encontrados situaram-se no intervalo de 1° a 5°. Os resultados obtidos são ainda compatíveis aos apresentados por Shimoyama (2005), que estudando a qualidade da madeira de *Pinus taeda* aos 28 anos, obteve a partir de tábuas, ângulo médio de 3,26°, cujo intervalo de variação para a propriedade foi de 1,58° a 5,93°.

Por outro lado os valores obtidos neste trabalho para as espécies de *Pinus* tropicais e para o *Pinus taeda* foram inferiores aos apresentados por Pereira e Tomaselli (2004) que em estudo da qualidade da madeira de *Pinus elliottii* com 9 anos, obtiveram a partir de diferentes espaçamentos, ângulos no intervalo de 5,7° a 8,0°. Segundo estes autores, o ângulo de inclinação mostrou-se diretamente relacionado a intensidade do desbaste, onde quanto maior a intensidade do desbaste maior foi o crescimento, o qual está relacionado a altas taxas de divisão celular que conseqüentemente contribuem para a espiralidade.

Analisando os coeficientes de variação obtidos para esta característica, verifica-se que os valores foram extremamente elevados, o que indica inicialmente uma grande variabilidade na inclinação das fibras e por conseqüência nas propriedades da madeira. Coeficientes de variação bastante elevados foram também obtidos por Shimoyama (2005) com valores de 29,2% a 38,1% para *Pinus taeda*, por

Cruz (2006) para clones de *Eucalyptus* com valores entre 26,4% a 66,3% e por Silva (2002) que encontrou coeficientes de até 141,4% para a região central da árvore (*Eucalyptus*). Segundo este último autor a grande variação nesta propriedade pode ser explicada pela dificuldade de medição que é efetuada num único plano, quando na verdade o fenômeno de inclinação das fibras ocorre de maneira tridimensional.

9.4.2 Nodosidade

A Tabela 9.5 demonstra os valores obtidos para o diâmetro médio dos nós e sua respectiva área, frequência e área de nós por m², encontrados nos corpos de prova testados.

TABELA 9.5 – RESULTADOS MÉDIOS RELATIVOS A AVALIAÇÃO DOS NÓS NAS ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

Espécie	D _{nó} ¹ (cm)	A _{nó} ² (cm ²)	Frequência ³ (nº/m ²)	Área ⁴ (cm ² /m ²)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	1,93 (39,02)	3,23 (85,13)	5,27	13,02
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	2,03 (28,58)	3,29 (27,40)	6,82	16,82
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	2,23 (45,46)	4,68 (92,04)	12,82	43,62
<i>Pinus chiapensis</i>	2,24 (54,25)	4,71 (77,16)	10,61	32,91
<i>Pinus maximinoi</i>	2,97 (52,91)	8,69 (92,29)	11,33	45,45
<i>Pinus oocarpa</i>	1,96 (40,28)	3,48 (88,79)	9,60	21,10
<i>Pinus tecunumanii</i>	2,61 (24,69)	5,63 (47,51)	8,08	36,96
<i>Pinus taeda</i>	2,46 (52,84)	5,87 (93,75)	10,31	40,07

¹ Diâmetro médio dos nós; ² Área média dos nós; ³ Frequência dos nós; ⁴ Área média ocupada pelos nós em relação a área de 1 m² de madeira; Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras.

Pode-se notar que o *Pinus maximinoi* apresentou nós com os maiores diâmetros e conseqüentemente com as maiores áreas. Por outro lado, os menores diâmetros de nós foram encontrados no *Pinus caribaea* var. *bahamensis* assim como a menor área específica.

Em relação a freqüência, nota-se que a maior ocorrência é encontrada a partir do *Pinus caribaea* var. *hondurensis* com quase 13 nós por m² de área superficial. Já a melhor qualidade da madeira foi encontrada a partir do *Pinus caribaea* var. *bahamensis*.

Quanto a área ocupada pelos nós em relação à área de madeira, verifica-se que o *Pinus maximinoi* apresentou o maior valor médio, sendo desta forma, caracterizado como a madeira de menor qualidade quanto a esta característica e suas possíveis influências sobre as demais propriedades.

Em uma breve comparação dos valores encontrados a partir das peças avaliadas com resultados encontrados por outros pesquisadores, verifica-se que para a variável diâmetro dos nós, os resultados apresentam-se compatíveis com os apresentados por Shimoyama (2005) que obteve diâmetros médios de 1,54 cm e 3,76 cm para nós localizados nas 1^a e 2^a toras, respectivamente, e aos descritos por Chies (2005) que encontrou valores intervalo de 1,88 cm a 3,09 cm também para as duas primeiras toras, sendo ambas as pesquisas realizadas com *Pinus taeda*.

Para a variável freqüência de nós, Shimoyama (2005) relata valor médio de 10,46 e 14,45 nós por m² para 1^a e 2^a toras de *Pinus taeda*, e Chies (2005) descreve número de nós por m² de 18,36 a 31,32 a partir de diferentes espaçamentos, também para *Pinus taeda*.

A respeito da área ocupada pelos nós, a literatura apresenta valores no intervalo de 47,10 cm²/m² a 134,50 cm²/m² (SHIMOYAMA, 2005) e 113,11 cm²/m² a 169,91 cm²/m² (CHIES, 2005), sendo estes valores superiores ao deste trabalho. Este resultado é justificado pelo fato de que ambos os autores avaliaram toda a madeira serrada obtida a partir das toras, e os valores médios neste trabalho foram, de certa forma, determinados a partir de peças pré-selecionadas⁴.

⁴ A pré-seleção diz respeito a exclusão de corpos de prova que possuíam nós excessivamente grandes e comprometiam a aplicação da madeira em fins estruturais.

Como é impossível obter 100% de madeira sem a ocorrência de nós a partir de uma árvore, é desejável a ocorrência de pequenos nós e com maior frequência, que nós grandes e menos frequentes em aplicações estruturais (BAMBER; BURLEY, 1983), maximizando desta forma, as propriedades de resistência.

9.4.3 Módulo de ruptura e módulos de elasticidade

Na Tabela 9.6 são apresentados os valores médios do módulo de ruptura e do módulo de elasticidade obtidos a partir do ensaio de flexão estática estrutural convencional e o módulo de elasticidade dinâmico determinado a partir da aplicação das ondas de tensão.

TABELA 9.6 – RESULTADOS MÉDIOS DO MÓDULO DE RUPTURA, MÓDULO DE ELASTICIDADE ESTRUTURAL CONVENCIONAL E MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO

Espécie	MOR ¹ (MPa)	MOE _{conv} ² (MPa)	MOE _d ³ (MPa)	ME _{12%} ⁴ (g/cm ³)	r ⁵
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	39 b (22,75)	5,415 e (18,31)	4,346 d (13,84)	0,431 c (6,03)	0,72*
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	45 b (19,17)	6,641 cde (21,81)	5,057 d (22,05)	0,472 bc (8,55)	0,85*
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	40 b (28,60)	7,068cd (33,90)	4,590 d (26,01)	0,467 bc (10,42)	0,89*
<i>Pinus chiapensis</i>	42 b (27,68)	8,131 bc (18,77)	4,994 d (15,66)	0,433 c (13,07)	0,64*
<i>Pinus maximinoi</i>	41 b (25,38)	8,740 ab (18,77)	6,458 b (16,87)	0,490 b (8,98)	0,76*
<i>Pinus oocarpa</i>	42 b (32,50)	6,342 de (29,62)	5,371 cd (24,19)	0,527 a (9,08)	0,88*
<i>Pinus tecunumanii</i>	57 a (30,69)	9,783 a (27,53)	6,329 bc (22,80)	0,560 a (10,87)	0,81*
<i>Pinus taeda</i>	38 b (38,10)	9,671 ab (24,38)	9,889 a (25,96)	0,481 b (8,74)	0,68*
<i>p</i>	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*	

¹ Módulo de ruptura; ² Módulo de elasticidade convencional (estático); ³ Módulo de elasticidade dinâmico; ⁴ Massa específica aparente a 12%; ⁵ Coeficiente de correlação entre módulo de elasticidade estático e módulo de elasticidade dinâmico; Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna são estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade; *Significativo a 5% de probabilidade; Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras;

De acordo com a Tabela 9.6, verifica-se que o maior módulo de ruptura a partir das amostras com dimensões estruturais foi demonstrado pelo *Pinus tecunumanii*, sendo este valor estatisticamente diferente dos valores médios de todas as demais espécies estudadas. Entre as demais espécies de *Pinus* tropicais e a testemunha, não foi constatada diferença estatística significativa.

Em relação ao módulo de elasticidade, nota-se também, que o *Pinus tecunumanii* apresentou o maior valor médio, no entanto, para esta propriedade, a espécie é estatisticamente igual a testemunha e ao *Pinus maximinoi*. Observa-se também, que nesta propriedade diversas espécies apresentam valores médios estatisticamente inferiores a testemunha.

Para o módulo de elasticidade dinâmico determinado a partir da aplicação das ondas de tensão, nota-se que os valores médios apresentaram-se inferiores aos valores obtidos pelo método convencional, menos para a testemunha. Normalmente a literatura reporta resultados deste módulo um pouco superiores ao módulo de elasticidade estático, como por exemplo, similares aos encontrados no Capítulo 8 deste trabalho, a partir de avaliação efetuada em amostras com dimensões menores e isentas de defeitos.

Estas diferenças podem, de certa forma, ser explicadas pela presença de nós ao longo das peças. A ocorrência de nós na madeira causa uma interrupção da continuidade e mudança na direção das fibras em torno do mesmo, onde a onda de tensão demora um maior tempo para se propagar, reduzindo a sua velocidade e consequentemente o módulo de elasticidade dinâmico.

Por outro lado, são observadas elevadas correlações entre as duas metodologias de determinação, o que indica que a técnica não destrutiva de propagação de ondas de tensão mostrou-se eficiente para a avaliação da qualidade da madeira de espécies de *Pinus* tropicais e *Pinus taeda* a partir de peças com dimensões estruturais e com a presença de nós. Este fato aumenta ainda mais a importância do presente trabalho, assim como dos referidos resultados, já que dificilmente na construção civil são utilizadas peças como vigas, ripas, caibros, tabuas, etc, totalmente isentas deste defeito.

Comparando os resultados obtidos a partir dos corpos de prova em tamanhos estruturais e com a presença de nós com os resultados apresentados no Capítulo 8,

Seção 8.4.5 para as amostras com dimensões menores e totalmente isentas de defeitos, pode-se notar que os coeficientes de correlação obtidos naquele capítulo, são melhor correlacionados, o que indica que, a presença de nós interfere na propagação das ondas e na determinação das propriedades a partir do ensaio destrutivo, gerando desta forma, coeficientes mais baixos, porém mais reais.

Em relação a outras pesquisas reportadas na literatura, resultados similares ao deste estudo foram também encontrados por Sales *et al.* (2006) que avaliando a relação entre módulo de elasticidade obtido no ensaio de flexão estática e módulo de elasticidade dinâmico por ultra-som em peças estruturais de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* obtiveram boa e por Syojo *et al.* (2006) que avaliando as relações entre propriedades físicas, mecânicas e acústicas a partir de peças de madeiras com nós, rachaduras e apodrecimento, concluíram que o módulo de elasticidade dinâmico obtido a partir da técnica acústica é uma boa ferramenta para estimar a resistência, sendo muito melhor que a velocidade, a dureza ou a massa específica. Além disso, estes autores concluíram ainda, que para estimar as propriedades de flexão de peças com defeitos, outras variáveis além da velocidade e do módulo de elasticidade dinâmico devem ser consideradas.

Em relação aos resultados apresentados por Cunha e Matos (2010b), os quais avaliaram o módulo de elasticidade em vigas de madeira laminada colada pelo método de propagação de ondas de tensão, nota-se que estes autores também obtiveram módulo de elasticidade estático muito maior que o encontrado pelo método dinâmico (aproximadamente 100% maior). Além disso, estes autores encontraram coeficientes de correlação baixíssimos entre os dois métodos, onde o módulo de elasticidade dinâmico explica somente 11,70% do módulo de elasticidade estático.

Nogueira (2007) avaliando peças de madeira serrada com dimensões estruturais de *Eucalyptus*, obteve coeficientes de correlação de 0,28 entre módulos estático e dinâmico a partir de amostras secas ao ar, sendo estes resultados bastante inferiores ao encontrado no presente trabalho.

Considerando o contexto acima, verifica-se que os resultados encontrados no presente trabalho apresentaram a mesma tendência, onde também, o módulo de

elasticidade dinâmico, apresentou os melhores resultados quando comparados com massa específica e velocidade de propagação das ondas, apresentados adiante.

9.4.4 Influência da posição radial sobre o módulo de ruptura, módulo de elasticidade e massa específica

A Tabela 9.7 apresenta os valores médios do módulo de ruptura, módulo de elasticidade e massa específica obtidos para amostras localizadas na parte interna (próxima a medula) e na parte externa (próxima a casca).

Analisando as propriedades obtidas para a região interna, verifica-se que o maior valor médio para o módulo de ruptura foi apresentado pelo *Pinus tecunumanii*. Em contrapartida, o menor resultado médio para esta propriedade foi obtido a partir do *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, no entanto, não foi constatada diferença estatística significativa entre as espécies.

Em relação a variável módulo de elasticidade, nota-se que o *Pinus taeda* apresentou o maior valor médio, diferindo estatisticamente do *Pinus caribaea* var. *bahamensis* e do *Pinus oocarpa*.

Já para as propriedades determinadas a partir das amostras localizadas na região externa, nota-se que a análise variância denotou a ocorrência de diferença estatística significativa tanto para o módulo de ruptura como para o módulo de elasticidade, onde para a primeira variável citada, a espécie que apresentou o maior valor médio foi o *Pinus tecunumanii*, sendo esta espécie estatisticamente diferente das demais. Em relação à testemunha, nenhuma outra espécie de *Pinus* tropicais apresentou valores médios estatisticamente inferiores.

Em relação ao módulo de elasticidade determinado nesta região, verifica-se que o *Pinus tecunumanii* também demonstrou o maior valor médio, o qual é estatisticamente igual a testemunha. Ainda em relação à testemunha, as espécies *Pinus oocarpa*, *Pinus caribaea* var. *caribaea* e *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, foram as únicas estatisticamente inferiores ao *Pinus taeda*.

TABELA 9.7 – INFLUÊNCIA DA POSIÇÃO RADIAL SOBRE OS MÓDULOS DE RUPTURA E ELASTICIDADE À FLEXÃO ESTÁTICA E SOBRE A MASSA ESPECÍFICA

Espécie	Interna			Externa		
	MOR (MPa)	MOE (MPa)	ME (g/cm ³)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	ME (g/cm ³)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	_B 34 a (13,24)	_B 4.742 c (16,89)	_B 0,411 e (4,77)	_A 43 b (21,66)	_A 5.961 d (13,11)	_A 0,446 de (4,20)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	_B 40 a (22,07)	_B 5.725 ab (16,89)	_A 0,452 cd (7,89)	_A 49 b (7,46)	_A 5.961 cd (13,11)	_A 0,484 bcde (6,08)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	_B 36 a (27,21)	_B 5.760 ab (28,21)	_B 0,465 cde (9,82)	_A 44 b (26,47)	_A 8.284 bc (28,92)	_A 0,469 cde (11,42)
<i>Pinus chiapensis</i>	_A 39 a (21,31)	_A 7.878 a (13,93)	_A 0,428 de (12,28)	_A 44 b (33,94)	_A 8.368 bc (23,37)	_A 0,437 e (14,23)
<i>Pinus maximinoi</i>	_B 37 a (21,60)	_B 7.719 a (15,60)	_A 0,479 abc (9,11)	_A 46 b (23,88)	_A 9.821 b (13,52)	_A 0,502 bc (8,44)
<i>Pinus oocarpa</i>	_B 33 a (33,08)	_B 5.184 c (22,80)	_A 0,522 a (9,22)	_A 52 b (15,33)	_A 7.665 cd (21,53)	_A 0,532 b (9,14)
<i>Pinus tecunumanii</i>	_B 44 a (29,64)	_B 7.534 ab (20,50)	_B 0,521 ab (8,30)	_A 68 a (18,97)	_A 11.767 a (14,83)	_A 0,595 a (8,97)
<i>Pinus taeda</i>	_A 35 a (40,21)	_A 9.293 a (25,71)	_A 0,467 bcd (7,73)	_A 42 b (35,48)	_A 10.318 ab (22,61)	_A 0,505 bc (8,55)
<i>p</i>	0,051 ^{ns}	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*

Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma coluna (a direita, minúscula e em fonte normal) indicam diferenças da propriedade entre espécies, e são estatisticamente diferentes pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade. Médias seguidas de letras diferentes mesma linha, (a esquerda, maiúscula e em fonte subscrita) indicam diferenças nas respectivas propriedades de acordo com a posição radial (interna e externa) na espécie e são estatisticamente diferentes pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo; valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras.

Comparando as diferenças encontradas para as propriedades de resistência e rigidez entre as duas regiões em cada espécie, observa-se que todas as espécies apresentaram valores médios superiores para a região externa, onde das oito espécies estudadas, seis apresentaram diferença estatística significativa entre as duas regiões. Estes resultados são compatíveis com as afirmações de Larson, Nichols e Dadswell (2001) que afirmam que baixos valores destas propriedades são encontrados na madeira juvenil.

De maneira geral, o aumento das propriedades de resistência e rigidez, embora não possa ser afirmado em função da dificuldade de delimitação da madeira adulta para os corpos de prova da região externa, está associado às características dos lenhos juvenil e adulto, onde as amostras obtidas da posição interna são constituídas quase que exclusivamente de madeira juvenil. A madeira juvenil apresenta traqueóides mais curtos, maior ângulo microfibrilar na camada S_2 da parede celular, parede celular mais fina, menor percentual de lenho tardio e conseqüentemente menor massa específica. Em função destas características, as propriedades mecânicas são menores. Em oposição, a madeira localizada próxima a casca, embora não possa ser afirmada como madeira exclusivamente adulta devido a pouca idade das árvores, e provavelmente a presença de madeira de transição e talvez pequenas quantidades de madeira juvenil, apresenta tendência de mudanças graduais nas células, com aumento de seus elementos, o que proporciona um aumento na massa específica, e devido a estas características a qualidade da madeira é superior em termos de resistência (BENDSTEN, 1978; PANSIN; DE ZEEUW, 1980; ZOBEL, 1981; ZOBEL, 1984, SENFT; BENDSTEN; GALLIGAN, 1985; ZOBEL; BUIJTENEN, 1989; KLOCK, 2000).

Geimer, Herian e Xu (1997) complementam estas informações relatando que peças estruturais que possuem uma determinada quantidade de lenho juvenil a resistência se apresenta inferior, e por este motivo o estudo e a diferenciação das propriedades da madeira juvenil e adulta são importantes para a utilização da madeira.

Para as espécies *Pinus chiapensis* e *Pinus taeda*, que apresentaram propriedades mecânicas estatisticamente iguais entre as duas regiões avaliadas, verifica-se, que uma possível justificativa para este resultado está associado a

massa específica, onde esta propriedade também não apresenta diferença estatística entre as duas regiões nas espécies. Os valores ligeiramente superiores encontrados para a região externa promoveram um pequeno aumento nas propriedades de resistência e rigidez, no entanto, não foi suficiente para estabelecer diferença estatística entre a posição interna e a posição externa.

Por outro lado, Cave e Walker (1994) em estudo das propriedades elásticas da madeira de plantações de *Pinus radiata* concluíram que a grande diferença de resistência e rigidez entre a madeira adulta e juvenil não ocorre exclusivamente pelas diferenças de massa específica, mas sim, pelo ângulo microfibrilar, sendo este o maior responsável por estas propriedades.

Quantificando o aumento da resistência entre as duas regiões, verifica-se que os percentuais de acréscimo para o módulo de ruptura apresentaram variação de 16,66% a 36,54%, e o módulo de elasticidade apresentou um acréscimo de 3,96% a 35,97%. Comparando com os relatos de Kreichmann (1998), que afirma que a madeira juvenil pode apresentar entre 50% a 70% da resistência e rigidez da madeira adulta, dependendo da classe ou da espécie, nota-se que mesmo sem total distinção dos tipos de lenho das espécies de *Pinus* pela pouca idade ainda, os valores apresentaram-se na maioria dos casos compatíveis com os valores de referências apresentados por este autor.

Comparando com os resultados encontrados na literatura, os quais seguiram o mesmo princípio de avaliação ou diferenciação das propriedades, verifica-se que os valores médios encontrados para as diferentes espécies de *Pinus* nesta pesquisa seguiram o mesmo comportamento encontrado por Klock (1989) que avaliando *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa* a partir de diferentes idades (e em amostras com dimensões menores), obtiveram módulos de ruptura no intervalo de 50,10 MPa a 53,43 MPa para a região interna e valores médios entre 71,57 MPa a 81,94 MPa para a região externa a partir de *Pinus oocarpa*. Já o módulo de elasticidade desta mesma espécie variou de 5.022 MPa a 7.334 MPa para amostras obtidas a partir da região interna e de 9.787 MPa a 12.723 MPa para amostras localizadas próximas a casca. Para o *Pinus caribaea* var. *hondurensis* o módulo de ruptura variou no intervalo de 42,66 MPa a 52,75 MPa e 71,36 MPa a 90,16 MPa, para regiões interna e externa, respectivamente e o módulo de elasticidade

apresentou valores entre 5.455 MPa a 7.445 MPa e de 10.611 MPa a 14.239 MPa, também para as regiões interna e externa.

Ballarin e Lara Palma (2003) procurando avaliar a tendência no comportamento do módulo de ruptura e do módulo de elasticidade na madeira juvenil e adulta a partir de árvores de *Pinus taeda* com 37 anos de idade, obtiveram valores médios de 87,03 MPa e 10.894 MPa e 127,62 MPa e 16.730 MPa para módulos de ruptura e elasticidade em madeira juvenil e adulta, respectivamente. Embora estes valores não possam ser comparados quantitativamente, devido a clara delimitação entre lenhos estabelecida por estes autores, assim como pela diferença das dimensões dos corpos de prova e isenção de defeitos no caso do trabalho citado, verifica-se que a variação das propriedades de resistência e rigidez apresentaram um acréscimo de aproximadamente 32% no módulo de ruptura e 35% no módulo de elasticidades, sendo este aumento similar ao aumento apresentados por várias das espécies avaliadas neste trabalho.

9.4.5 Influência da orientação dos anéis de crescimento sobre o módulo de ruptura e o módulo de elasticidade

Na Tabela 9.8 são apresentados os valores médios do módulo de ruptura e do módulo de elasticidade de acordo com a orientação dos anéis de crescimento.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 9.8 é possível observar que ocorreram diferenças estatísticas significativas entre os valores médios do módulo de ruptura e do módulo de elasticidade entre as diferentes espécies, tanto na orientação radial quanto na orientação tangencial.

TABELA 9.8 – INFLUÊNCIA DA ORIENTAÇÃO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO SOBRE OS MÓDULOS DE RUPTURA E ELASTICIDADE À FLEXÃO ESTÁTICA

Externa	Radial			Tangencial		
	MOR (MPa)	MOE (MPa)	ME (g/cm ³)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	ME (g/cm ³)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	^A 46 ab (15,61)	^A 6.423 b (11,70)	^A 0,441 bc (4,12)	^B 35 b (23,43)	^B 4.922 c (20,13)	^A 0,424 c (3,98)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	^A 45 ab (15,93)	^A 6.746 b (12,23)	^A 0,469 bc (6,94)	^A 45 ab (21,83)	^A 6.228 bc (25,73)	^A 0,471bc (12,78)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	^A 48 ab (15,70)	^A 7.745 ab (26,26)	^A 0,473 bc (8,32)	^A 41 b (31,27)	^A 7.505 ab (32,99)	^A 0,478 bc (9,85)
<i>Pinus chiapensis</i>	^A 41ab (22,29)	^A 7.553 ab (18,58)	^A 0,420 c (13,40)	^A 44 ab (28,51)	^A 8.361 a (19,43)	^A 0,433 c (14,06)
<i>Pinus maximinoi</i>	^A 41 ab (28,08)	^A 9.124 a (21,50)	^A 0,491 ab (7,62)	^A 42 ab (26,28)	^A 9.088 a (11,77)	^A 0,488 bc (11,07)
<i>Pinus oocarpa</i>	^A 43 ab (39,05)	^A 6.576 b (34,58)	^A 0,507 ab (7,54)	^A 42 b (29,54)	^A 5.794 bc (21,78)	^A 0,519 ab (9,63)
<i>Pinus tecunumanii</i>	^A 58 a (35,29)	^A 10.040 a (32,09)	^A 0,542 a (86,50)	^A 58 a (25,94)	^A 9.337 a (25,46)	^A 0,564 a (10,28)
<i>Pinus taeda</i>	^A 37 b (43,08)	^A 9.821 a (26,21)	^A 0,492 ab (7,73)	^A 41 b (25,99)	^A 9.237 a (25,51)	^A 0,459 bc (8,55)
<i>p</i>	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*

Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma coluna (a direita, minúscula e em fonte normal) indicam diferenças da propriedade entre espécies, e são estatisticamente diferentes pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade. Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma linha, (a esquerda, maiúscula e em fonte subscrita) indicam diferenças nas respectivas propriedades de acordo com a posição radial (interna e externa) na espécie e são estatisticamente diferentes pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo; valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.

Em relação ao módulo de ruptura, o *Pinus tecunumanii* apresentou os maiores resultados em ambas as orientações, bem como os resultados mais elevados de módulo de elasticidade. Já os menores resultados quanto as diferentes orientações foram, de maneira geral, obtidos a partir do *Pinus caribaea* var. *bahamensis*.

Comparando as diferentes orientações na mesma espécie, é possível verificar que exceto o *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, nenhuma outra espécie apresentou diferença estatística significativa quanto a esta comparação, corroborando as informações mencionadas pelo FPL (1955, 1999), que afirma que algumas espécies não apresentam grandes diferenças em suas propriedades em função da orientação dos anéis de crescimento.

Estes valores são também compatíveis com os resultados apresentados por Lahr e Mascia (1986) que avaliando a influência da posição dos anéis de crescimento em relação à aplicação da carga nas propriedades de flexão estática (módulo de ruptura e módulo de elasticidade) a partir de espécies folhosas, chegaram a conclusão que não existe a necessidade de orientar a posição dos anéis de crescimento no momento dos ensaios.

Por outro lado, mesmo não havendo diferença estatística significativa quanto a orientação dos anéis de crescimento, verifica-se uma pequena tendência do módulo de elasticidade apresentar resultados ligeiramente superiores no sentido radial para a maioria das espécies.

9.4.6 Correlações entre as propriedades

9.4.6.1 Correlações entre massa específica e propriedades mecânicas

A Tabela 9.9 apresenta os coeficientes de correlação (r) obtidos entre as variáveis massa específica aparente (12%), versus módulo de ruptura e módulos de elasticidade convencional e dinâmico.

TABELA 9.9 – CORRELAÇÕES ENTRE MASSA ESPECÍFICA, VERSUS MÓDULO DE RUPTURA, MÓDULO DE ELASTICIDADE CONVENCIONAL E MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO

Espécie	Variável	MOR ¹	MOE _{conv} ²	MOE _d ³
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	ME _{12%}	0,57	0,66	0,82
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	ME _{12%}	0,49	0,67	0,83
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	ME _{12%}	0,00 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,40 ^{ns}
<i>Pinus chiapensis</i>	ME _{12%}	0,43	0,44	0,74
<i>Pinus maximinoi</i>	ME _{12%}	0,02 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,62
<i>Pinus oocarpa</i>	ME _{12%}	0,06 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,17 ^{ns}
<i>Pinus tecunumanii</i>	ME _{12%}	0,57	0,66	0,75
<i>Pinus taeda</i>	ME _{12%}	0,37 ^{ns}	0,71	0,47 ^{ns}

ME_{12%}: Massa específica aparente a 12%; ¹ Módulo de Ruptura; ² Módulo de elasticidade convencional; ³ Módulo de elasticidade dinâmico; ^{ns} não significativo; valores não identificados são significativos as 95% de probabilidade.

É possível verificar a partir da tabela acima, que apenas as espécies *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus chiapensis* e *Pinus tecunumanii*, apresentaram correlações significativas para todas as variáveis analisadas e somente algumas propriedades apresentaram coeficientes de correlação elevados, indicando possivelmente, que outras características da madeira também exerceram influência sobre as propriedades mecânicas.

Os resultados obtidos para esta condição de avaliação, de certa forma, contradizem as informações de Larson, Nichols e Dadswell (2001) que relatam que o módulo de ruptura e o módulo de elasticidade são altamente correlacionados com a massa específica e aos de Klock (1989) que afirma que na madeira a correlação entre massa específica e propriedades de resistência é bem definida.

Por outro lado, os coeficientes determinados neste trabalho assemelham-se aos encontrados por Ballarin e Lara Palma (2003) que avaliando diferenças nas propriedades anatômicas, físicas e mecânicas da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda*, encontraram a partir de análise de regressão, coeficientes de correlação entre módulo de ruptura e massa específica de 0,26 para madeira juvenil e 0,44 para

madeira adulta. Para as variáveis módulo de elasticidade e massa específica os valores foram de 0,28 e 0,55, na madeira juvenil e adulta, respectivamente.

Já Klock (1989) avaliando a qualidade da madeira de *Pinus oocarpa* obteve coeficiente de correlação de 0,57 a 0,85 entre módulo de ruptura e massa específica e de 0,57 a 0,81 para módulo de elasticidade e massa específica. Para a espécie *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, os valores foram de 0,62 a 0,90 entre módulo de ruptura e massa específica e 0,57 a 0,87 para módulo de elasticidade e massa específica. Klock (2000) em estudo da qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi*, obteve coeficientes de 0,71 a 0,83 para as relações entre massa específica, módulo de ruptura e módulo de elasticidade. Considerando os resultados apresentados por este autor e comparando com os resultados apresentados na Tabela 9.9 para as espécies estudadas, verifica-se que os coeficientes obtidos por Klock (1989; 2000) foram bastante superiores, onde, de certa forma, estes resultados podem também estar associados a corpos de prova de menores dimensões e sem ocorrência de nós.

Boas correlações foram também encontradas por Rocha, Paula e Siqueira (1988) que avaliando espécies amazônicas encontraram correlações entre módulo de ruptura e módulo de elasticidade em função da massa específica de 0,66 e 0,68. Já Nogueira (2007) avaliando peças de madeira serrada com dimensões estruturais de *Eucalyptus*, não obteve boas correlações entre massa específica aparente e as demais grandezas medidas (módulo de elasticidade, resistência, etc...)

Em relação à influência da massa específica sobre a velocidade de propagação das ondas de tensão e conseqüentemente sobre o módulo de elasticidade dinâmico, verifica-se que para algumas espécies (3) os coeficientes de correlação não se mostraram significativos, indicando que a massa específica não exerceu influência sobre esta propriedade. Este resultado pode ser explicado segundo Ilic (2003)⁵ citado por Del Menezzi, Silveira e Souza (2010), que relata a partir de seu trabalho com 55 espécies tropicais, que mesmo que a massa específica apresente grande variação, nem sempre a velocidade de propagação apresenta grande variação. Segundo este mesmo autor, para o grupo de espécies avaliadas, o ângulo microfibrilar da camada S₂ da parede secundária teve uma clara influência

⁵ Ilic, J. 2003. Dynamic MOE of 55 species using small wood beams. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 61: 167-172.

sobre a velocidade de propagação das ondas de tensão, ou seja, quanto menor o ângulo microfibrilar, maior a velocidade de propagação da onda.

Outro fato a ser observado a partir da Tabela 9.9 diz respeito a influência da massa específica sobre o módulo de ruptura e o módulo de elasticidade. Segundo estudos conduzidos por Koch (1972) e Pearson e Gilmore (1980) com espécies do gênero *Pinus*, normalmente observa-se coeficientes de correlação entre massa específica e módulo de ruptura superior à coeficientes entre massa específica e módulo de elasticidade, sendo encontrada situação inversa neste trabalho. Desta forma, pode-se dizer que nas espécies de *Pinus* estudadas, assim como, nas condições propostas no estudo, a massa específica afetou muito mais o módulo de elasticidade do que o módulo de ruptura.

Resultado similar foi também encontrado por Lucas Filho (1997), que avaliando as interações entre massa específica e propriedades mecânicas de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* com 21 anos, obteve coeficientes de 0,64 e 0,79 para massa específica e módulo de ruptura, para as duas espécies respectivamente, e 0,74 e 0,85 para massa específica e módulo de elasticidade.

9.4.6.2 Correlações entre percentual de lenho tardio e propriedades mecânicas

Na Tabela 9.10 podem ser observados os coeficientes de correlações obtidos a partir da interação entre percentual de lenho tardio, versus módulo de ruptura e módulos de elasticidade.

É possível observar a partir da análise de correlações que o percentual de lenho tardio não exerceu influência significativa na maioria das espécies. Este resultado indica que muito provavelmente, outros fatores, ou o somatório de outros fatores, exercem maior influência. Observa-se ainda, que a espécie mais influenciada pelo percentual de lenho tardio foi o *Pinus tecunumanii*, no entanto as variáveis não são fortemente correlacionadas

Para esta condição de avaliação (peças grandes com a presença de nós) as relações obtidas contradizem as afirmações de Knigge e Schultz (1966)⁶ citados por

⁶ KNIGGE, W. & SCHULZ, H. Growndise der Forestbenutzung. Varlang Paul Parey, Hamburg and Berlin, 1966. 584p.

Klock (1989) que afirmam que o percentual de lenho tardio é de grande interesse e possui grande afinidade com as propriedades mecânicas.

TABELA 9.10 – CORRELAÇÕES ENTRE PERCENTUAL DE LENHO TARDIO VERSUS MÓDULO DE RUPTURA, MÓDULO DE ELASTICIDADE CONVENCIONAL E MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO DETERMINADO PELA EMISSÃO DE ONDAS DE TENSÃO

Espécie	Variável	MOR ¹	MOE _{conv} ²	MOE _d ³
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	LT	0,15 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,19 ^{ns}
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	LT	0,37 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,40 ^{ns}
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	LT	-0,09 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,29 ^{ns}
<i>Pinus chiapensis</i>	LT	0,1 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,31 ^{ns}
<i>Pinus maximinoi</i>	LT	0,21 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,58
<i>Pinus oocarpa</i>	LT	0,08 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,10 ^{ns}
<i>Pinus tecunumanii</i>	LT	0,36	0,44	0,35
<i>Pinus taeda</i>	LT	0,44 ^{ns}	0,59	0,60

LT: percentual de lenho tardio; ¹ Módulo de Ruptura; ² Módulo de elasticidade convencional; ³ Módulo de elasticidade dinâmico; Valores negativos (-) indicam que as propriedades são inversamente correlacionadas; ^{ns} não significativo; valores não identificados são significativos a 95% de probabilidade.

Klock (1989) estudando as propriedades da madeira de *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, encontrou coeficientes de 0,84 para a interação entre lenho tardio e módulo de ruptura, em ambas as espécies. Já em 2000, este mesmo autor, avaliando a qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi*, encontrou coeficientes de 0,36 entre lenho tardio e módulo de ruptura e 0,31 entre lenho tardio e módulo de elasticidade, onde estes últimos resultados se assemelham aos valores encontrados no presente trabalho.

Lucas Filho (1997) avaliando *Pinus elliottii* obteve coeficientes de 0,70 e 0,71 para lenho tardio e módulo de ruptura e lenho tardio e módulo de elasticidade, respectivamente. Já para a espécie *Pinus taeda*, este mesmo autor não encontrou

correlação significativa entre lenho tardio e módulo de ruptura (0,18) e coeficiente de apenas 0,39 entre lenho tardio e módulo de elasticidade.

9.4.6.3 Correlações entre ângulo de grã e propriedades mecânicas

A Tabela 9.11 apresenta os coeficientes de correlação determinados entre o ângulo de grã e as propriedades mecânicas das espécies de *Pinus* tropicais.

TABELA 9.11 – CORRELAÇÕES ENTRE ÂNGULO DE GRÃ VERSUS MÓDULO DE RUPTURA, MÓDULO DE ELASTICIDADE CONVENCIONAL E MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO

Espécie	Variável	MOR ¹	MOE _{conv} ²	MOE _d ³
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	Ângulo de grã	-0,30 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	-0,21 ^{ns}
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	Ângulo de grã	-0,15 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	-0,06 ^{ns}
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	Ângulo de grã	-0,40	-0,59	-0,44
<i>Pinus chiapensis</i>	Ângulo de grã	-0,05 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	0,06 ^{ns}
<i>Pinus maximinoi</i>	Ângulo de grã	0,20 ^{ns}	-0,19 ^{ns}	-0,17 ^{ns}
<i>Pinus oocarpa</i>	Ângulo de grã	-0,20 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	-0,19 ^{ns}
<i>Pinus tecunumanii</i>	Ângulo de grã	-0,31 ^{ns}	-0,32 ^{ns}	-0,22 ^{ns}
<i>Pinus taeda</i>	Ângulo de grã	-0,00 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	-0,18 ^{ns}

¹ Módulo de Ruptura; ² Módulo de elasticidade convencional; ³ Módulo de elasticidade dinâmico; Valores negativos (-) indicam que as propriedades são inversamente correlacionadas; ^{ns} não significativo; valores não identificados são significativos a 95% de probabilidade.

De acordo com a tabela citada, nota-se que apenas o *Pinus caribaea* var. *hondurensis* apresentou coeficientes estatisticamente significativos, no entanto, as propriedades não são fortemente correlacionadas. Para as demais espécies esta característica não afetou em grande proporção as propriedades de resistência e rigidez, nem a propagação das ondas de tensão.

Nota-se ainda, a ocorrência de correlações negativas, o que indicam que a medida que aumenta o ângulo de grã, existe uma tendência de redução das propriedades mecânicas, ou seja, maior ângulo de grã reduz a qualidade da

madeira, assim como a propagação das ondas acústicas. Este último fato é corroborado por Shimoyama (2005), que afirma que se as fibras ou traqueóides estiverem posicionados paralelamente ao eixo longitudinal do tronco, ou seja, com um ângulo próximo a 0°, as ondas longitudinais percorrem as fibras longitudinalmente, já, quando os elementos celulares formam ângulos com o eixo longitudinal do tronco, as ondas longitudinais cruzam estes elementos, e neste caso há a influência negativa do diâmetro do lume, aumentando o tempo de propagação das ondas, e conseqüentemente reduzindo a velocidade. Como a velocidade é utilizada diretamente no cálculo do módulo de elasticidade dinâmico, uma menor velocidade incorre na redução da propriedade.

9.4.6.4 Correlações entre deformação e propriedades mecânicas

Na Tabela 9.12 são apresentadas os coeficiente de correlações obtidos entre a deformação e as propriedades mecânicas das espécies de *Pinus* tropicais.

TABELA 9.12 – CORRELAÇÕES ENTRE DEFORMAÇÃO VERSUS MÓDULO DE RUPTURA, MÓDULO DE ELASTICIDADE CONVENCIONAL E MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO

Espécie	Variável	MOR ¹	MOE _{conv} ²	MOE _d ³
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	Deformação	-0,24 ^{ns}	-0,36 ^{ns}	-0,15 ^{ns}
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	Deformação	-,023 ^{ns}	-0,51	-0,70
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	Deformação	-0,75	-0,84	-0,82
<i>Pinus chiapensis</i>	Deformação	- 0,49	- 0,43	- 0,56
<i>Pinus maximinoi</i>	Deformação	-0,21 ^{ns}	-0,51	-0,48
<i>Pinus oocarpa</i>	Deformação	-0,72	-0,62	-0,74
<i>Pinus tecunumanii</i>	Deformação	- 0,41	- 0,66	- 0,62
<i>Pinus taeda</i>	Deformação	-0,15 ^{ns}	-0,36 ^{ns}	-0,18 ^{ns}

A deformação refere-se aos resultados medidos a partir da máquina de classificação mecânica Stress Grading Machine (SGM); ¹ Módulo de Ruptura; ² Módulo de elasticidade convencional; ³ Módulo de elasticidade dinâmico; Valores negativos (-) indicam que as propriedades são inversamente correlacionadas; ^{ns} não significativo; valores não identificados são significativos a 95% de probabilidade.

Segundo a tabela citada, é possível verificar que o sistema de pré-classificação das amostras a partir da deformação, pode ser utilizado como um elemento para segregação de peças estruturais em classes de qualidade ou classes de resistência e rigidez, para a maioria das espécies de *Pinus* tropicais.

Observa-se também, que as variáveis encontram-se inversamente correlacionadas, o que indica que quanto maior a deformação acusada pelo equipamento menor é a resistência das peças.

9.4.6.5 Correlações entre velocidade de propagação das ondas de tensão e propriedades mecânicas

Na Tabela 9.13 são apresentadas as correlações obtidas entre a velocidade de propagação das ondas de tensão e as propriedades de módulo de ruptura e módulo de elasticidade à flexão estática nas amostras estruturais.

TABELA 9.13 – CORRELAÇÕES ENTRE VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO, MÓDULO DE RUPTURA E MÓDULO DE ELASTICIDADE CONVENCIONAL

Espécie	Variável	MOR¹	MOE_{conv}²
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	V _{SWT}	0,40	0,62
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	V _{SWT}	0,70	0,82
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	V _{SWT}	0,60	0,86
<i>Pinus chiapensis</i>	V _{SWT}	0,28	0,42
<i>Pinus maximinoi</i>	V _{SWT}	0,59	0,81
<i>Pinus oocarpa</i>	V _{SWT}	0,83	0,79
<i>Pinus tecunumanii</i>	V _{SWT}	0,54	0,68
<i>Pinus taeda</i>	V _{SWT}	0,55	0,20 ^{ns}

V_{SWT}; Velocidade de propagação das ondas de tensão; ¹ Módulo de Ruptura; ² Módulo de elasticidade convencional; ^{ns} não significativo; todos os demais valores são significativos a 95% de probabilidade.

De acordo com os coeficientes determinados é possível verificar que as propriedades de resistência e rigidez à flexão estática de espécies de *Pinus* tropicais podem ser estimadas a partir da medição da velocidade de propagação das ondas de tensão nas respectivas amostras.

Nota-se que as melhores interações foram obtidas nas espécies *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Pinus maximinoi* e *Pinus oocarpa*, constituindo nestes casos, uma ferramenta de avaliação não destrutiva bastante eficiente.

Por outro lado, estas interações, muito provavelmente, foram afetadas pela presença de nós nas peças. Segundo Gerhards (1982) quando ondas são induzidas em peças de madeira que apresentam nós, as ondas não mantêm seu curso normal, aumentando o seu tempo de propagação. O aumento deste tempo de propagação ocorre, segundo Jung (1979), pela necessidade de contorno da onda na madeira que circunda o nó, bem como pela influência dos elevados teores de extrativos e ângulo de grã na região, que contribuem ainda mais para o aumento do tempo, e com isso reduzem significativamente a velocidade.

Além disso, os baixos coeficientes em algumas espécies ou propriedades podem estar associados a localização do nó. Na determinação da velocidade de propagação das ondas, a presença do nó interfere quase que da mesma forma se o mesmo está posicionado na parte central da peça ou nas suas extremidades. Já no ensaio destrutivo, a localização do nó exerce influência considerável, onde, por exemplo, se o nó estiver localizado nas extremidades da amostra, seu grau de influência é menor, no entanto se estiver situado na porção central da peça onde o carregamento é aplicado, a resistência e a rigidez são altamente comprometidas. Este fato é confirmado por Kollmann e Côté (1968) e Iwakiri (1982) que afirmam que nas peças sujeitas a flexão estática, os esforços são maiores na proporção média do comprimento e nas partes extremas da altura, logo o maior efeito do nó sobre a resistência ocorre quando o mesmo é encontrado nestas regiões.

9.5 CONCLUSÕES

A partir dos ensaios desenvolvidos e das análises realizadas, as seguintes conclusões podem ser apresentadas neste capítulo:

- As propriedades de flexão estática segundo a norma ASTM D198 demonstraram que a espécie *Pinus tecunumanii* apresentou os maiores valores médios tanto para o módulo de ruptura quanto para o módulo de elasticidade, sendo considerada a espécie de melhor qualidade mecânica.
- O *Pinus caribaea* var. *bahamensis* apresentou os menores resultados das propriedades mecânicas, sendo a de menor qualidade estrutural. Já as demais espécies de *Pinus* tropicais apresentaram-se na maioria dos casos compatíveis à espécie utilizada como testemunha, constituindo fonte de matéria prima complementar ou matéria prima substituta à madeira de *Pinus taeda*.
- O método não destrutivo de propagação de ondas de tensão demonstrou ser uma ferramenta eficiente para a avaliação da qualidade da madeira e determinação do módulo de elasticidade dinâmico, apresentando elevadas correlações com o módulo de elasticidade convencional.
- O método não destrutivo de propagação de ondas de tensão pode ser utilizado com segurança na classificação de peças em classes de qualidade ou resistência para aplicações estruturais, mesmo com a presença de defeitos (nós).
- Todas as espécies apresentaram propriedades mecânicas superiores para a região externa (próximo a casca), onde entre as oito espécies estudadas, seis delas apresentaram diferença estatística significativa entre as duas regiões avaliadas.
- As amostras localizadas na região externa apresentaram acréscimo percentual de 16,66% a 36,54% para o módulo de ruptura e 3,96% a 35,97% para o módulo de elasticidade, quando comparadas com as amostras localizadas na região interna e constituídas exclusivamente de madeira juvenil, reafirmando com isso, que o estudo e a diferenciação das

propriedades da madeira juvenil e adulta são importantes para a utilização da madeira.

- A orientação dos anéis de crescimento frente a aplicação da carga não exerceu influência acentuada e estatisticamente significativa para as espécies estudadas, exceto para o *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, indicando com isso, que as mesmas podem ser utilizadas a partir das diferentes orientações.
- As propriedades de massa específica, percentual de lenho tardio e ângulo de grã não apresentaram coeficientes de correlação elevados, indicando que outros fatores, possivelmente a presença de nós e suas respectivas características, exerceram maior influência sobre a resistência e a rigidez da amostras estruturais de *Pinus* tropicais e *Pinus taeda*.
- Não foi possível estabelecer uma relação direta e quantitativa a respeito da influência da presença e das características dos nós sobre as propriedades mecânicas das espécies de *Pinus* estudadas.
- A classificação das amostras por meio da deformação causada pela aplicação de carga no equipamento *Stress Grading Machine* (SGM), apresentou bons resultados e coeficientes de correlação inversamente significativos, indicando que o método pode ser utilizado para segregação de peças estruturais em classes de qualidade ou classes de resistência e rigidez, para a maioria das espécies de *Pinus* tropicais.
- A velocidade de propagação das ondas de tensão exclusivamente, apresentou boas correlações com o módulo de ruptura e com o módulo de elasticidade convencional, constituindo uma ferramenta adicional para a avaliação da qualidade da madeira de *Pinus* tropicais e *Pinus taeda*, no entanto, sofreu influência da presença de nós, e possível por isso, apresentou coeficientes de correlação inferiores aos coeficientes obtidos entre módulo de elasticidade convencional e módulo de elasticidade dinâmico.

9.6 REFERÊNCIAS

- ABRAHÃO, C. P. **Estimativa de algumas propriedades da madeira de *Eucalyptus urophylla* por espectrometria**. 182 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.
- ANDRIGHETO, R.; ANDRADE, D.M.; SZÜCS, C. A. Estudo Comparativo entre Madeira Laminada Colada e Madeira Laminada Colada Multicolada. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 10., 2006, São Pedro (SP). **Anais...** São Carlos (SP): IBRAMEN – Instituto Brasileiro da Madeira e das Estruturas de Madeira, 2006, CD-ROM.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). Standard Test Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes. **ASTM D 198-05a**. West Conshohocken (PA), 2007.
- BALLARIN, A. W.; LARA PALMA, H. A. Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. **Árvore**. v. 27, n.3, p. 371-380, 2003.
- BAMBER, R.K.; BURLEY, J. The **Wood properties of *Radiata pine***. Commonwealth Agricultural Bureau, 1983, 84 p.
- BENDSTEN, B. A. Properties of wood from improved and intensively managed trees. **Forest Products Journal**, v. 28, p. 61-72, 1978.
- BODIG, J. The Process of NDE Research for Wood and Wood Composites. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NONDESTRUCTIVE TESTING OF WOOD, 12th, Sopron. **Proceedings**, University of Western Hungary, 2000.
- BOWYER, J. L.; SHMULSKY, R.; HAYGREEN, J. G. **Forest products and wood science: an introduction**. 4th ed. Ames: Iowa State Press, 2003. 554 p.
- BROWN, M. J.; McWILLIAMS, W. H. Pine stands across the South - trends and projections. In: SOUTHERN PLANTATION WOOD QUALITY WORKSHOP, 1989, Athens. **Proceedings...** Asheville: Southeastern Forest Experiment Station, United States Department of Agriculture, p. 1-15, 1990.
- BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da Madeira**. São Paulo. Livraria Nobel S.A, 154 p. 1991.
- CALORI, J.V., KIKUTI, P. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus dunnii* aos 20 anos de idade. In: IUFRO CONFERENCE ON

SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALIPTS, v.3. Salvador, 1997.
Anais... Colombo: EMBRAPA, 1997. v.3

CARREIRA, M.R.; DIAS, A.A. Classificação visual de coníferas: análise da aplicação do método norte-americano às espécies de *Pinus sp.* plantadas no Brasil. **Scientia Forestalis**, n.67, p.78-87, 2005.

CASTELO, P.A.R. **Avaliação da qualidade da madeira de *Pinus taeda* em diferentes sítios de crescimento e espaçamentos, através do método não destrutivo de emissão de ondas de tensão.** 137 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

CAVE, I.D.; WALKER, J.C.F. Stiffness of wood in fast-grown plantation softwoods: the influence of microfibril angle. **Forest Products Journal**, v. 44, n. 5, p. 43-48, 1994.

CHIES, D. **Influência do espaçamentos sobre a qualidade e o rendimento da madeira serrada de *Pinus taeda* L.** 123 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

COWN, D. J.; McCONCHIE, D. L. Wood properties variation in old-crop stand of *Radiata pine*. **New Zealand Journal of Forestry Science**, v. 10, n. 3, p. 508-520, 1980.

COWN, D. J. Corewood (Juvenile wood) in *Pinus radiata* – should we be concerned?. **New Zealand Journal of Forestry Science**, v. 22, n. 1, p. 87-95, 1992.

CRUZ, C.R. **Aplicação de ondas de tensão para estimativa do teor de umidade em madeiras de clones de *Eucalyptus*.** 78 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

CUNHA, A.B.; MATOS, J.L.M. Rigidez e resistência de vigas estruturais de madeira laminada colada e com perfil I compostas por diferentes adesivos. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 2, p. 345-356, 2010a.

CUNHA, A.B.; MATOS, J.L.M. Determinação do módulo de elasticidade em madeira laminada colada por meio de ensaio não destrutivo (“Stress Wave Timer”). **Árvore**, v. 34, n. 2, p. 345-354, 2010b.

DEL MENEZZI, C.H.S.; SILVEIRA, R.R.; SOUZA, M.R. Estimativa das propriedades de flexão estática de seis espécies de madeiras amazônicas por meio da técnica não-destrutiva de ondas de tensão. **Acta Amazônica**, v. 40, n.2, p. 325-332, 2010.

DIVÓS, F.; DÁNIEL, I.; BEJÓ, L. Defect detection in timber by stress wave time and amplitude. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NONDESTRUCTIVE TESTING OF WOOD, 12th, Sopron. **Proceedings**, University of Western Hungary, 2000.

FIORELLI, J.; DIAS, A.A.; COIADO, B. Propriedades mecânicas de peças com dimensões estruturais de *Pinus spp*: correlação entre resistência à tração e classificação visual. **Árvore**, v. 33, n.4, p. 741-750, 2009.

FOREST PRODUCTS LABORATORY (FPL). **Wood handbook** – basic information on wood as a material of construction with data for its use in design and specification. Washington, D.C.: United States Department of Agriculture, 1955. 528 p.

FOREST PRODUCTS LABORATORY (FPL). **Wood handbook** - wood as an engineering material. Washington, D.C.: United States Department of Agriculture, 1999. 463 p.

GABRIEL, M.S.C. **O uso do método das ondas de tensão na qualificação mecânica da madeira serrada de *Pinus taeda* L.** 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrônômicas). Universidade do Estado de São Paulo, Botucatu, 2000.

GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1988. 111 p.

GEIMER, R. L.; HERIAN, V. L.; XU, D. Influence of juvenile wood on dimensional stability and tensile properties of flakeboard. **Wood and Fiber Science**, v. 29, n. 2, p. 103-120, 1997.

GERHARDS, C.C. Effects of knots on stress waves in lumber. Madison, Department of Agriculture Forest Service, Forest Products Laboratory, 1982. 28p. General Technical. Report.

GONZAGA, A.L. Madeira: Usos e conservação. Brasília, DF, IPHAN/MONUMENTA, 2006, 246p.

GURFINKEL, G. **Wood Engineering**. New Orleans: Southern Forest Products Association, 573p. 1973.

HAYGREEN, J. G.; BOWYER, J. L. **Forest products and wood science: an introduction**. Iowa: Iowa State University Press: AMES, 1996. 484 p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). **Madeira: uso sustentável na construção civil**. São Paulo, 2 ed. Sinduscon-SP, 2009. 99 p.

IWAKIRI, S. **Classificação de madeiras tropicais através do método mecânico não destrutivo**. 91 f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1982.

JUNG, J. Stress-wave grading techniques on veneer sheets. Madison, Department of Agriculture Forest Service, Forest Products Laboratory, 1979. 10p. General Technical. Report.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira de *Pinus oocarpa* Schiede e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr e Golf**. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira de *Pinus maximinoi* H. E. Moore**. 291 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

KOCH, P. Utilization of the Southern pines. Madison: USDA, Forest Service Agricultural. **Handbook**, 1972, 420 p.

KOLLMANN, F. F. P. **Tecnologia de la Madera y sus aplicaciones**. Madrid. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y Servicio de la Madera. 1959. 647 p.

KOLLMANN, F.F.P.; CÔTÉ, W.A. **Principles of wood science and technology: Solid wood**. New York: Springer, 1968. 592 p.

KRETSCHMANN, D.E. Properties and Use of Wood, Composites, and Fiber Products
Properties of Juvenile Wood. **Techline**, v.9, 1998, 1p.

KRETSCHMANN, D.E. Mechanical properties of wood. In: FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood Handbook**, Madison, 2010. P. 5-1 – 5-46.

LAHR, F.A.R., MASCIA, N.T. Metodologia do ensaio de peças de madeira à flexão estática. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2., 1986, São Carlos. **Anais...** São Carlos, 1986. p.114-132.

LAROCA, C. **Habitação social em madeira: uma alternativa viável.** 95 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

LARSON, P.R.; NICHOLS, J.W.P.; DADSWELL, H.E. **Formation and properties of juvenile wood in southern pines:** a synopsis. Madison, USDA, 2001, 42 p.

LUCAS FILHO, FC. **Estudo da influência do teor de umidade e da massa específica aparente sobre a resistência das madeiras de *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm e *Pinus taeda* L.**101 f. Dissertação. (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

MATOS, J.L.M. Métodos não destrutivos para avaliação da qualidade da madeira. In: SEMINÁRIO SÓLIDOS DE EUCALIPTO: AVANÇOS CIENTÍFICOS E TECNOLÓGICOS. Lavras, **Anais...** Universidade Federal de Lavras, 2002. p. 76-84.

MATOS, J.L.M. Tendencies and perspectives in non-destructive techniques utilization for evaluation of Wood and wood products properties. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NONDESTRUCTIVE TESTING CONTRIBUTION TO THE INFRASTRUCTURE SAFETY SYSTEMS IN THE 21ST CENTURY. Torres, **Proceedings...**Federal University of Santa Maria, 1999a. p. 120-124.

MATOS, J.L.M. The use of non-destructive stress wave technique for wood veneer classification and structural laminated veneer lumber production In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NONDESTRUCTIVE TESTING CONTRIBUTION TO THE INFRASTRUCTURE SAFETY SYSTEMS IN THE 21ST CENTURY. Torres, **Proceedings...**Federal University of Santa Maria, 1999b. p. 125-129.

MATOS, J.L.M. **Estudo sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *Pinus taeda* L.** 117f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

McALISTER, R.; CLARK, A. Effect of geographic location and seed source on the bending properties of juvenile and mature Loblolly Pine. **Forest Products Journal**, v. 41, n. 9, p. 39-41, 1991.

MORESCHI, J.C. **Levantamento da qualidade da madeira com plantações artificiais de *Pinus elliottii* nos estados do sul do Brasil.** 162 f. Dissertação. (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1975.

NOGUEIRA, M. **Classificação de peças de madeira serrada de dimensões estruturais de *Eucalyptus* sp. Com uso de ensaios não destrutivos.** 120 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade do estado de São Paulo, Botucatu, 2007.

NOGUEIRA, M.; BALLARIN, A.W. Efeito da idade na qualificação mecânica da madeira serrada de *Eucalyptus* sp. com uso de ensaios não-destrutivos. **Revista Energia na Agricultura**, v. 23, n.3, p.74-94, 2008.

PANSHIN, A.J.; DE ZEEW, C. **Textbook of wood technology: II.** New York, MC Graw Hill, 4 ed., 722 p. 1980.

PEARSON, R.G., GILMORE, R.C. Effect of fast growth rate on the mechanical properties of *Loblolly pine*. **Forest Products Journal**. v. 30, n.5, p. 47-54, 1980.

PEREIRA, J.C.; TOMASELLI, I. A influência do desbaste na qualidade da madeira de *Pinus elliottii* Engelm var. *elliottii*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 49, p. 61-81, 2004.

PUEHRINGER, C.A. **Uso de emissão de ondas de tensão para avaliação não destrutiva de árvores e da madeira de *Pinus taeda* L.** 104 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

REZENDE, M.A.; SAGLIETTI, J.R.C.; GUERRINI, I.A. Estudo das interrelações entre massa específica, retratibilidade e umidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* aos 8 anos de idade. **IPEF**, n. 48-49, p. 133-141, 1995.

ROCHA, J.S., PAULA, E.V.C.M., SIQUEIRA, M.L. Flexão estática em amostras pequenas livres de defeitos. **Acta Amazonia**, v.18, n. 1-2, p.147- 162, 1988.

ROSS, R.J. Nondestructive testing of Wood. In: NONDESTRUCTIVE EVALUATION OF CIVIL STRUCTURES AND MATERIALS, Colorado, **Proceedings...** University of Colorado, 1992. p. 43-47.

ROSS, R.J.; PELLERIN, R.F. **Nondestructive testing for assessing wood members in structures: A review.** Madison, Department of Agriculture Forest Service, Forest Products Laboratory, 1994, 40 p. General Technical. Report.

ROSS, R.J.; BRASHAW, B.K.; PELLERIN, R.F. Nondestructive evaluations of wood. **Forest Products Journal**, v. 48, n.1, p. 14-19, 1998.

SALES, A.; CANDIAN, M.; OLIVEIRA, F.G.R.; CARDIN, V.S. Classificação mecânica de peças estruturais de madeira serrada com emprego das técnicas de ultra-som e vibração transversal. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 10, 2006, São Pedro, **Caderno de Resumos...** São Pedro, Instituto Brasileiro da Madeira e das estruturas de Madeira, 2006, p.44.

SANTINI, E. J. **Alternativas para o monitoramento e controle do processo de secagem de madeira serrada em estufa.** 198 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996.

SCHILLING, A. C.; SCHNEIDER, P. R.; HASELEIN, C. R.; FINGER, C. A. G. Influência de diferentes intensidades de desrama sobre a porcentagem de lenho tardio e quantidade de nós da madeira de primeiro desbaste de *Pinus elliottii* Engelm. **Ciência Florestal**, v. 8, n. 1, p. 115 - 127, 1998.

SENFT, J.F.; BENDTSEN, B.A.; GALLIGAN, W.L. Weak wood. **Journal of Forestry**, v.83, n.8, p. 476-485, 1985.

SERPA, P.N.; VITAL, B.R.; DELLA LUCIA, R.M.; PIMENTA, A.S. Avaliação de algumas propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*. **Árvore**, v. 27, n. 5, p. 723-733, 2003.

SHIMOYAMA, V.R.S. **Estimativas de propriedades da madeira de *Pinus taeda* através do método não destrutivo de emissão de ondas de tensão, visando a geração de produtos de alto valor agregado.** 151 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

SILVA, E.L.; SZÜCS, C.P. Construção habitacional em madeira para a região Sul Brasileira. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 6, 1998, São Pedro, **Caderno de Resumos...** São Pedro, Instituto Brasileiro da Madeira e das estruturas de Madeira, 1998, p.49-58.

SILVA, J.R.M. **Relações da usinabilidade e aderência do verniz com as propriedades fundamentais do *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden.** 179 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

SIMPSON, W. T. **Dry kiln operator's manual.** Madison: United States Department of Agriculture - USDA, 1991. 274 p.

SKAAR, C. **Water in wood.** New York: Syracuse University Press. 1972. 218 p.

STATGRAPHICS. Centurion XVI **User Manual**. by StatPoint Technologies, Inc. 2009.

SUCZS, C.C.; PADARATZ, I.J.; SANTOS NETO, A.B.; WERLICH, H.M. Influence of timber humidity in the velocity of propagation of ultrasound. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NONDESTRUCTIVE TESTING CONTRIBUTION TO THE INFRASTRUCTURE SAFETY SYSTEMS IN THE 21ST CENTURY. Torres, **Proceedings...**Federal University of Santa Maria, 1999. p. 102-106.

SYOJO, T.; ABE, E.K.; BALLARIN, A.W.; BARTHOLOMEU, Relações entre as propriedades físicas, mecânicas e de ensaios de ultra-som na madeira com sua resistência a flexão e à compressão paralela às fibras. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 10, 2006, São Pedro, **Caderno de Resumos...** São Pedro, Instituto Brasileiro da Madeira e das estruturas de Madeira, 2006, p.57.

TOMASELLI, I. KLITZKE, R.J. **Secagem da madeira**. Fundação Hugo Simas: UFPR, Lages, 2000.

TSOUMIS, G. T. **Science and technology of wood**: structure, properties, utilization. New York: Chapman e Hall, 1991. 479 p.

WANG, X. ROSS, R.J.; BRASHAW, B.K.; PUNCHES, J.; ERICKSON, R.J. FORSMAN, J.W.; PELLERIN, R.E. Diameter effect on stress-wave evaluation of modulus of elasticity of logs. **Wood and Fiber Science**, v. 36, n. 3, p. 368-377, 2004.

WANGAARD. F.F. **The mechanical properties of Wood**. Chapman Hall, London 1950, 377 p.

ZENID, G. S. **A madeira na construção civil**. São Paulo: IPT,1997. 8p.

ZHANG, H.; WANG, X.; SU, J. Experimental investigation of stress wave propagation in standing trees. **Holzforschung**, v. 65, p. 743-748, 2011.

ZOBEL, B. Wood quality from fast-grown plantations. **TAPPI**, v. 64, n. 1, p. 71-74, 1981.

ZOBEL, B.J. The changing quality of the world wood supply. **Wood Science and Technology**, n.18, n.1, p.1-17, 1984.

ZOBEL, B.J.; BUIJTENEN, J.P. **Wood variation**: its causes and control. Berlin: Springer-Verlag, 1989. 361 p.

CAPÍTULO 10

CONCLUSÕES GERAIS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

CAPÍTULO 10

CONCLUSÕES GERAIS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

10.1 CONCLUSÕES GERAIS

Com base nos resultados obtidos ao longo desta tese, é possível estabelecer, de maneira geral, as seguintes conclusões:

10.1.1 Velocidade de propagação das ondas de tensão nas árvores e toras

Não foi identificado claramente um fator físico que indique o comportamento da propagação das ondas de tensão nas diferentes espécies de *Pinus*.

A aplicação das ondas de tensão em campo, nas árvores e nas toras, indicou que a medição da velocidade de propagação das ondas nas toras é mais precisa e com menor coeficiente de variação. Nas árvores em pé, a análise das correlações de Pearson não apresentou bons resultados. Este fato indica que a aplicação da técnica nas árvores em pé (DAP) não constitui uma ferramenta eficaz para seleção de indivíduos com os melhores atributos tecnológicos (físicos e mecânicos) em todo o fuste.

Já em relação à aplicação das ondas de tensão nas toras, pode-se concluir que o uso da técnica é eficiente para a seleção de indivíduos com elevada massa específica apenas nas espécies *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus tecunumanii*. Em relação à estabilidade dimensional a aplicação desta técnica nas toras também não apresentou bons resultados para a maioria das espécies, onde resultados significativos foram obtidos apenas para a espécie *Pinus caribaea* var. *bahamensis*.

A aplicação das ondas de tensão nas toras pode ser considerada uma técnica eficiente para selecionar em campo indivíduos com as melhores propriedades

mecânicas (verde e seca a 12%) em algumas espécies de *Pinus* tropicais, agregando com isso, maior valor à matéria prima.

A aplicação das ondas de tensão nas toras apresentou-se melhor correlacionada com as propriedades mecânicas da madeira avaliadas com umidade de equilíbrio de 12%, constituindo neste caso uma eficiente e promissora técnica de seleção de indivíduos em campo e avaliação não destrutiva das propriedades mecânicas em todas as espécies, exceto no *Pinus chiapensis*.

Pode-se dizer, de maneira geral, que a velocidade de propagação das ondas de tensão nas árvores em pé e nas toras é um fenômeno complexo, o qual deve ser aprofundado a fim de se obter informações mais conclusivas.

10.1.2 Características de crescimento e produção volumétrica

Todas as espécies de *Pinus* tropicais apresentaram características de crescimento superiores ao *Pinus taeda*, onde o *Pinus chiapensis* demonstrou a maior produtividade volumétrica. Esta maior produção volumétrica de madeira apresentada pelas espécies de *Pinus* tropicais, entre outros fatores, está associada às condições climáticas da região do plantio.

Embora a espécie *Pinus chiapensis* tenha apresentado o maior volume médio por árvore, e o menor percentual de casca, o fator de forma indicou que a mesma apresenta a maior conicidade, o que contribuiu negativamente no rendimento em madeira serrada.

Em termos de produção de matéria seca, que considera efetivamente a massa de madeira produzida, a espécie que apresentou o melhor resultado foi o *Pinus tecunumanii*.

Possivelmente as melhores características de crescimento e produtividade volumétrica apresentadas pelo *Pinus chiapensis* contribuíram para rápidas divisões celulares na espécie, originando traqueóides curtos, largos e principalmente com menor espessura de parede, o que provavelmente implicou em menor massa

específica e boas propriedades frente aos índices que qualificam estes elementos para a produção de celulose e papel.

As características de crescimento (DAP, altura e volume) não exerceram influência acentuada sobre a massa específica básica, madeira juvenil e lenho tardio, na maioria das espécies. Não foi observada também, uma relação direta entre características de crescimento e propriedades mecânicas.

De maneira geral, é necessário haver um trabalho conjunto entre profissionais do manejo e da tecnologia para encontrar um ponto ótimo entre crescimento das árvores e propriedades tecnológicas para determinadas finalidades.

10.1.3 Propriedades anatômicas

As espécies de *Pinus* por pertencerem ao mesmo gênero, apresentam características organolépticas e macroscópicas muito similares entre si, onde algumas delas só podem ser identificadas a partir da descrição microscópica.

A análise colorimétrica indicou que todas as espécies apresentam coloração amarela clara e que a face radial, muito provavelmente pela influência dos raios, é a face de maior claridade. Em relação ao uso de pigmentos homogeneizadores da cor para obtenção de peças uniformes, um estudo mais detalhado por meio de protótipos deve ser conduzido, a fim de avaliar a real necessidade de sua aplicação.

As características dimensionais dos traqueóides demonstraram que as espécies estudadas apresentaram valores compatíveis aos descritos pela literatura para espécies do mesmo gênero.

O estudo da variabilidade das dimensões dos traqueóides em diferentes posições do fuste demonstrou que no sentido longitudinal os elementos anatômicos não apresentaram um padrão de variação totalmente definido em algumas espécies, já no sentido radial todas as espécies apresentaram variações de comprimento, largura e espessura de parede melhor definidas, com aumento progressivo em direção à casca.

As características dimensionais dos traqueóides, assim como suas respectivas relações, mostraram que todas as espécies de *Pinus* são adequadas a produção de polpa celulósica e papel, apresentando produtos com qualidade satisfatória. Todas as espécies possivelmente apresentarão papéis com características mecânicas modestas, com exceção do *Pinus chiapensis* que apresentou os melhores índices, constituindo assim, traqueóides flexíveis, com boa capacidade de interligação, boa superfície de contato e bom colapso. Em virtude destas características, é, entre as espécies estudadas a espécie mais adequada a produção de papel de elevada resistência a tração e ao arrebentamento.

Em relação às propriedades físicas, não foi observada relação direta entre espessura de parede celular e massa específica básica para a maioria das espécies, exceto para o *Pinus chiapensis*, onde a menor espessura de parede possivelmente contribuiu para a menor massa específica. Esta baixa e imperceptível relação com as características dimensionais dos traqueóides na maioria das espécies, pode estar associada a pequena variação de massa específica entre algumas espécies. Assim, estudos relacionados ao arranjo e distribuição dos elementos celulares são necessários.

Entre as espécies de *Pinus* tropicais a espessura de parede celular exerceu acentuada influência sobre a contração volumétrica do *Pinus oocarpa*. Por outro lado, a menor espessura de parede celular apresentada pelo *Pinus chiapensis* contribuiu para a menor contração volumétrica na espécie.

Houve uma tendência, no entanto não totalmente esclarecida, das características dos traqueóides contribuírem para maiores ou menores propriedades mecânicas nas espécies de *Pinus* tropicais.

10.1.4 Propriedades químicas

A análise quantitativa da composição química das espécies de *Pinus* tropicais apresentou resultados compatíveis com os valores descritos na literatura para coníferas e para espécies do gênero *Pinus*.

Todas as espécies de *Pinus* tropicais apresentaram extrativos totais superior ao valor apresentado pela espécie testemunha, o que podem influenciar negativamente os processos de industrialização da madeira.

A análise do pH indicou que nenhuma espécie apresenta acidez excessivamente baixa ou elevada.

Embora a espécie *Pinus chiapensis* tenha apresentado a partir das características dimensionais dos traqueóides os melhores índices de qualificação da polpa celulósica e do papel, foi a espécie que apresentou o maior valor médio de extrativos totais e principalmente de lignina, o que implica em maior dificuldade de polpação, maior corrosão dos metais e incrustações nos equipamentos, maior consumo de reagentes durante o processo de deslignificação, menor rendimento em celulose, dificuldades de depuração e branqueamento da polpa e geração de manchas no papel produzido.

Possivelmente o maior percentual de extrativos totais encontrados no *Pinus chiapensis* contribuiu para a ocorrência de madeira mais escura na espécie, com os menores valores de luminosidade, ângulo de tinta e pigmento amarelo e o maior valor da pigmentação vermelha. Por outro lado, os menores valores de extrativos obtidos a partir do *Pinus taeda*, favoreceram a formação de madeira mais clara, com o maior parâmetro de luminosidade e menor valor para o pigmento vermelho.

Não foi evidenciada relação direta entre componentes químicos e massa específica média da madeira.

O maior teor de extrativos totais possivelmente contribuiu para a menor contração volumétrica na espécie *Pinus chiapensis*, e em contrapartida, o menor teor de extrativos encontrados para o *Pinus taeda* favoreceu a contração volumétrica nesta espécie.

Não foram observadas relações diretas entre as propriedades químicas e as propriedades mecânicas.

Do ponto de vista de industrialização da madeira, torna-se difícil afirmar possíveis comportamentos da madeira frente à algumas aplicações, principalmente em relação aos extrativos, já que muitas vezes estes componentes influenciam de maneira qualitativa, não exclusivamente de maneira quantitativa.

10.1.5 Propriedades físicas

Todas as espécies de *Pinus* apresentaram massa específica leve, cuja variabilidade tendeu a apresentar redução da propriedade no sentido longitudinal para a maioria das espécies. Valores mais elevados nas porções superiores (75%) foram encontrados em algumas espécies, podendo estes valores ser atribuído, provavelmente à madeira de reação.

Em virtude da baixa idade, todas as espécies apresentaram elevado percentual de madeira juvenil, onde o estudo da variabilidade desta característica ao longo do fuste demonstrou que a partir de 75% da altura comercial ocorre exclusivamente madeira juvenil na maioria das espécies.

A análise do percentual de lenho tardio demonstrou que todas as espécies de *Pinus* tropicais apresentam percentual de lenho tardio estatisticamente igual entre si e inferior em relação ao *Pinus taeda*. Foi também observado o decréscimo desta característica ao longo do fuste, com grande homogeneidade em algumas espécies, o que pode favorecer as propriedades mecânicas.

A análise da largura dos anéis de crescimento indica, muito provavelmente, que na maioria das espécies a madeira juvenil está concentrada até o 10º anel de crescimento, no entanto, análises das características dimensionais dos traqueóides, assim como do ângulo microfibrilar e da massa específica devem ser efetuadas pontualmente ano a ano para confirmação da característica.

Em relação à estabilidade dimensional, nenhuma das espécies apresentou contração volumétrica estatisticamente superior à testemunha. Já em relação à anisotropia de contração o *Pinus taeda* apresentou o menor coeficiente quando comparado com as espécies de *Pinus* tropicais.

Entre as espécies de *Pinus* tropicais pode-se destacar as espécie *Pinus tecunumanii* e *Pinus oocarpa* como as espécies que apresentam os melhores resultados de massa específica e estabilidade dimensional.

A análise das correlações de Pearson indicou que entre madeira juvenil e percentual de lenho tardio, o segundo fator exerce maior influência e apresenta-se melhor correlacionado com a massa específica.

Não foram observadas fortes correlações entre massa específica e retratibilidade, onde este resultado está associado, muito provavelmente, à presença de resina e extrativos nas espécies estudadas, os quais alteraram a massa específica e inibem a contração.

Em relação a produção de painéis reconstituídos (OSB, MDP e MDF) e sua relação com a massa específica da madeira, todas as espécies apresentam-se adequadas a esta finalidade.

10.1.6 Propriedades mecânicas

As espécies de *Pinus* tropicais apresentaram boas propriedades mecânicas, e em alguns casos, superiores à espécie *Pinus taeda*, podendo ser aplicadas em diversas finalidades, como matéria prima complementar ou substituta das espécies tradicionalmente utilizadas pelas indústrias de base florestal.

De maneira geral, as melhores propriedades mecânicas foram obtidas a partir do *Pinus tecunumanii*, o que indica que a espécie é mais adequada à usos estruturais.

Os ensaios efetuados em diferentes teores de umidade indicaram forte influência sobre as propriedades mecânicas das espécies estudadas, com aumento no intervalo de 13,68% a 64,26% quando a madeira passa da condição verde (ou saturada) para a condição seca a 12%. Nesta mesma avaliação foi observado que o *Pinus taeda* (testemunha) é a espécie mais sensível à variação da umidade.

O estudo da variação da resistência mecânica ao longo do fuste indicou redução das propriedades mecânicas com a altura, no entanto, para a maioria das espécies não foi constatada diferença estatística significativa entre as diferentes toras. Este resultado pode ser considerado satisfatório, indicando maior homogeneidade de matéria prima e dependendo dos usos a eliminação do processo de classificação em classes de qualidade.

A massa específica da madeira exerce forte influência tanto sobre a resistência mecânica em amostras verdes quanto secas.

A propagação das ondas de tensão nas árvores em pé não se apresentou eficaz para a avaliação das propriedades mecânicas da madeira (verde e com UE a 12%) na maioria das espécies. Por outro lado, a aplicação desta técnica nas toras constitui uma ferramenta eficiente e bem correlacionada com a avaliação das propriedades mecânicas da madeira com umidade de equilíbrio de 12%, em todas as espécies, exceto no *Pinus chiapensis*, sendo possível a seleção de indivíduos e toras em campo.

10.1.7 Avaliação convencional e não destrutiva da madeira para uso estrutural

A espécie *Pinus tecunumanii* apresentou também para as amostras estruturais, a melhor resistência mecânica. As demais espécies apresentaram na maioria dos casos, propriedades compatíveis com a espécie utilizada como testemunha, constituindo fonte de matéria prima complementar ou matéria prima substituta à madeira de *Pinus taeda*.

O estudo da influência da posição radial sobre as propriedades de flexão estática demonstrou propriedades superiores na região externa (próxima a casca), onde o acréscimo percentual variou de 3,96% a 36,97%, sendo o módulo de elasticidade a propriedade com maior intervalo de variação.

A orientação dos anéis de crescimento não exerceu influência acentuada sobre a resistência da madeira.

Em virtude da presença de defeitos (nós), provavelmente, as propriedades de massa específica, percentual de lenho tardio e ângulo de grã não indicaram influência acentuada sobre as propriedades de resistência, o qual pode ser observado a partir dos baixos coeficientes de correlação.

O método não destrutivo de propagação de ondas de tensão constitui uma ferramenta eficiente para a avaliação das propriedades mecânicas convencionais e para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico de espécies de *Pinus* tropicais e *Pinus taeda*, apresentando boas correlações com o módulo de elasticidade convencional. Por outro lado, a velocidade de propagação das ondas sofreu influência da presença de nós, o que provocou redução dos coeficientes de

correlação quando estes são comparados com os coeficientes encontrados entre módulo de elasticidade dinâmico e convencional a partir das amostras isentas de defeitos.

10.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nas hipóteses e objetivos estabelecidos no Capítulo 1 é possível apresentar as seguintes considerações:

Todas as espécies de *Pinus* tropicais apresentam características de crescimento superiores ao *Pinus taeda*, espécie tradicionalmente utilizada pela indústria de base florestal.

As espécies de *Pinus* tropicais apresentam propriedades físicas e mecânicas tanto superiores quanto inferiores ao *Pinus taeda*. Em relação às propriedades físicas nenhuma espécie apresentou estabilidade dimensional superior ao *Pinus taeda*, mas muitas delas podem ser consideradas compatíveis. Em relação às propriedades mecânicas, as espécies *Pinus tecunumanii*, *Pinus oocarpa* e *Pinus maximinoi* se destacaram, o que indica que são as mais aptas para finalidades estruturais.

É possível estabelecer boas relações entre propagação de ondas de tensão nas toras em campo e propriedades mecânicas da madeira da maioria das espécies, principalmente quando a madeira é avaliada ou utilizada com umidade de equilíbrio de 12%.

É possível avaliar o módulo de elasticidade dinâmico de elementos estruturais, com a ocorrência de defeitos, por meio do métodos não destrutivo de propagação de ondas de tensão.

Para a melhor compreender e avaliar as propriedades da madeira (físicas, químicas, anatômicas e também as mecânicas) é importante desenvolver estudos com outros métodos não destrutivos, a fim verificar a eficiência de seu uso, bem como, obter resultados mais precisos e melhor correlacionados.

Em síntese, é possível afirmar que os objetivos deste trabalho foram atingidos, assim como a principal motivação desta tese, a qual disponibiliza diversas informações, preliminares e completas, a respeito das características de crescimento e propriedades da madeira das espécies de Pinus tropicais estudadas.

Acredita-se que este trabalho pode contribuir tanto técnica quanto cientificamente para academia de ciências florestais e da madeira, assim como proporcionar diversas informações úteis às indústrias de base florestal.