

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Caracterização da produtividade florestal e dos padrões de
crescimento de *Pinus taeda* L. no sul do Brasil através de análise de
tronco**

Juliana Soares Biruel Munhoz

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Recursos
Florestais. Com opção em: Silvicultura e Manejo
Florestal

**Piracicaba
2011**

**Juliana Soares Biruel Munhoz
Engenheiro Florestal**

Caracterização da produtividade florestal e dos padrões de crescimento de *Pinus taeda* L. no sul do Brasil através de análise de tronco

Orientador:
Prof. Dr. **JOSÉ LUIZ STAPE**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Recursos Florestais. Com opção em: Silvicultura e Manejo Florestal

**Piracicaba
2011**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Munhoz, Juliana Soares Biruel

Caracterização da produtividade florestal e dos padrões de crescimento de *Pinus taeda* L. no sul do Brasil através de análise de tronco / Juliana Soares Biruel Munhoz . - - Piracicaba, 2011.
116 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2011.
Bibliografia.

1. Agroclimatologia 2. Crescimento vegetal 3. Dendrometria 4. Densitometria de raios X
Energia de Biomassa 6. Pinheiro 7. Produtividade I. Título

CDD 634.9751
M966c

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

**À Deus,
que me ama incondicionalmente
e me faz ter esperança, por meio de Jesus,
independente das circunstâncias.**

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, que com sua infinita graça e misericórdia permitiu a finalização deste trabalho.

Ao meu marido, Wagner, pela paciência, compreensão, dedicação e amor nos momentos fáceis e difíceis, sendo um comigo.

Aos meus pais, Maria Helena e Douglas, por sempre me incentivarem a estudar e por abrirem mão de muitas coisas por mim.

Às minhas irmãs, Michelle e Mariana, por acreditarem em mim e me apoiarem em todos os momentos.

Ao Prof. Dr. José Luiz Stape, pela oportunidade, confiança e aprendizado ao longo desses anos.

Aos amigos do Laboratório de Ecofisiologia Florestal e Silvicultura, Ana Heloísa Marrichi, Marina Gentil, Cristiane Zani, Otávio Campoe, Ana Paula Ferez, Rafaela Carneiro e Renato Meulman, por participarem diretamente no meu aprendizado e pelos momentos juntos.

Ao amigo José Martins, por sempre estar disposto a ajudar.

Ao Grupo Florestal Monte Olimpo, em especial aos estudantes, José Luiz Conti, Edimar Domingos, Carolina Zoéga, Ivan Balcão e Mariane Souza, pela dedicação e auxílio no campo e no laboratório.

À toda equipe do projeto PPPIB, em especial aos engenheiros Rildo Moreira (ESALQ/USP), Renato Lima (Valor Florestal), Kelly Cancela (Masisa), Ricardo Paim e Luiz Otávio Andrade (Rigesa), pelo apoio e oportunidade da realização deste trabalho.

Ao apoio do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais.

Ao Prof. Natal Gonçalves, pelo apoio e incentivo.

Ao Prof. Dr. Mário Tomazello, pelo aprendizado e por sempre disponibilizar o Laboratório de Anatomia e Identificação da Madeira (LAIM) para o processamento de amostras.

Aos integrantes do LAIM, em especial, Maria, Moisés, Jedi, Angel, Vinícius, Victor e Bores, pela amizade e colaboração para o desenvolvimento deste trabalho.

À minha avó, Santa Felício, pela orações e exemplo de humildade.

Às minhas tias, tios e primos, pelo incentivo durante todos esses anos de estudos.

Aos amigos Edmilson Dias, Rubens Mariano de Oliveira Junior, Samira de Oliveira, Matheus e Juliana Oliveira, Oswaldo e Leni Silva, pelas orações, amizade e suporte em todo o tempo.

Aos amigos da Aliança Bíblica Universitária (ABU), pelas experiências que passamos juntos.

À Capes, pela bolsa de mestrado concedida.

À todos que participaram direta ou indiretamente deste trabalho e da minha vida.

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	11
1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1 Aspectos gerais do <i>Pinus taeda</i>	17
2.1.2 Produtividade do <i>Pinus</i>	18
2.2 Caracterização do lenho	19
2.2.1 Massa específica.....	20
2.2.2 Anéis de Crescimento	21
2.3 Fatores de crescimento.....	23
2.3.1 Fatores climáticos	24
2.3.2 Fatores edáficos.....	27
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	31
3.1 Caracterização da área experimental.....	31
3.2 Inventário dendrométrico.....	33
3.3 Detalhamento das metodologias utilizadas	35
3.4 Análise de tronco	38
3.4.1 Cubagem.....	38
3.4.1.1 Determinação da equação de volume.....	39
3.4.1.2 Índice de sítio: curvas de sítio	42
3.5 Densitometria de raios X.....	43
3.6 Determinação do volume, biomassa, equações de produção e uniformidade ..	45
3.7 Densidade básica: madeira e casca.....	48
3.8 Variáveis Climatológicas	49
3.10 Variáveis Edáficas.....	49
3.11 Análise Estatística	50
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1 Características edáficas.....	51
4.2 Clima	56
4.3 Cubagem e determinação da equação de volume	61
4.4 Curvas de sítio	69
4.5 Massa específica aparente: determinação da biomassa do fuste	72
4.6 Produtividade e as variáveis edafoclimáticas e de povoamento	75

4.7 Caracterização dos padrões de crescimento do <i>Pinus taeda</i>	80
5 CONCLUSÕES.....	91
REFERÊNCIAS.....	93
APÊNDICES.....	105

RESUMO

Caracterização da produtividade florestal e dos padrões de crescimento de *Pinus taeda* L. no sul do Brasil através de análise de tronco

Visando caracterizar a dinâmica de crescimento do *Pinus taeda* no sul do Brasil, este estudo teve os seguintes objetivos: i) determinar os principais fatores edafo-climáticos e do povoamento associados à ampla variação de produtividade da espécie; e ii) caracterizar padrões de crescimento e uniformidade, do plantio até 9 anos em diferentes regiões edafoclimáticas. Para isso, foram selecionadas 24 parcelas sem desbaste (700m²), com aproximadamente 1450 árvores ha⁻¹, entre 8 a 10 anos de idade, do projeto PPPIB (Produtividade Potencial do *Pinus* no Brasil), as quais estão localizadas em Jaguariaíva-PR, Ponta Grossa-PR, Rio Negrinho-SC e Três Barras-SC. O clima destas regiões é temperado úmido, com precipitação média anual de 1477mm, com temperaturas máxima, média e mínima de 24,3°C, 17,9°C e 12,7°C. Todas as variáveis biométricas foram determinadas através do banco de dados de inventário (2006-2009), dados de cubagem, análise de tronco (discos), de anéis de crescimento (baguetas) e massa específica aparente (densitometria de raios-X). Coletaram-se solos (0-20cm) nas parcelas de inventário, e obtiveram-se os dados climáticos de estações meteorológicas locais. Através das análises de disco determinaram-se os índices de sítio (idade base 10 anos), e através da bagueta e densitometria de raios-X, estimaram-se o padrão de crescimento de todas as parcelas em volume (m³ha⁻¹) e matéria seca (Mgha⁻¹) e seus Incrementos Médios Anuais e Correntes Anuais até o 9º ano. A uniformidade foi avaliada através do coeficiente de variação de volume das árvores dentro das parcelas (CVV) e da percentagem de biomassa em 50% das árvores mais finas (PB50), dos 2 aos 9 anos. As regiões apresentaram grande variação das propriedades físico-químicas do solo, como profundidade (30-140cm), teor de matéria orgânica (23 a 65g dm⁻³), teor de argila (20 a 85%), quantidade de N (500 a 5300kg ha⁻¹), e quantidade de P (9 a 84kg ha⁻¹). Aos 9 anos de idade todas parcelas não haviam culminado seu crescimento, e o incremento médio anual com casca (IMAc₉), o estoque de biomassa do lenho e índice de sítio de idade base 10 (IS₁₀) variaram de 15 a 35m³ ha⁻¹ ano⁻¹, de 55 a 130Mg ha⁻¹, e 12 a 19m, respectivamente, com maiores valores em Três Barras. Esta caracterização não era possível de ser detectada antes do 6º ano, mostrando que as decisões silviculturais ou genéticas precoces em *Pinus* precisam ser cuidadosamente consideradas. A produtividade (IMA) foi positivamente relacionada com o IS₁₀, e ambos estiveram relacionados com os maiores teores de matéria orgânica do solo, quantidade de nitrogênio disponível e menores médias de temperatura mínima e déficit hídrico. As florestas mais produtivas se mostraram também mais uniformes (menores CVV e maiores PB50), mas confundidas com material genético superior. Assim, o estudo corrobora o papel dos nutrientes, solos de boa drenagem, e condição climática amena e com baixo déficit hídrico na explicação da elevada produtividade do *P.taeda* no sul do Brasil, comparativamente a sua região de origem. Baseado nestes resultados, estudos de fertilização, material genético e uso rotineiro de análise do tronco, associado à densitometria de raios-X, podem ser recomendados para o *P.taeda*.

Palavras-chave: *Pinus taeda*; produtividade; análise dos anéis de crescimento; uniformidade; variáveis edafoclimáticas; densitometria de raios X

ABSTRACT

Characterization of forest productivity and growth patterns of *Pinus taeda* L. in south of Brazil using bole analysis

The study was designed to characterize the growth dynamics of *Pinus taeda* in south of Brazil and had the following objectives: i) determine the main edaphic, climatic and stand factors associated with the range in productivity of the species; and ii) characterize the growth patterns and uniformity, from planting until 9 years-old, across different edaphic and climatic regions. A total of 24 unthinned plots were selected (700m²), with stocking of 1450 trees ha⁻¹, between 8 and 10 years old, from the PPPIB project (Pine Potential Productivity in Brazil), and are located in Jaguariaíva-PR, Ponta Grossa-PR, Rio Negrinho-SC and Três Barras-SC. The climate of these regions is temperate humid (Cfb), with mean annual precipitation of 1477mm, and maximum, mean and minimum temperatures of 24.3°C, 17.9°C e 12.7°C. The biometric variables were assessed using inventory datasets (2006-2009), destructive sampling, bole analysis (disks), growth rings (stem coring), and specific gravity (X-ray densitometry). Soil samples (0-20cm) were collected on inventory plots, and climatic data were obtained from local weather stations. Site index (base age 10 years) were determined using bole disks, and growth patterns of all plots (m³ha⁻¹), dry mass (Mgha⁻¹), mean and current annual increments until 9th year were determined using stem coring and X-ray densitometry. Stand uniformity was evaluated using tree volume coefficient of variation within plots (CVV) and percentage of biomass for the 50% thinnest trees (PB50), from ages 2 to 9. Regions showed a wide range of soil physical and chemical properties, such as soil depth (30-140cm), organic matter levels (23 a 65g dm⁻³), clay content (20 a 85%), amount of N (500 a 5300kg ha⁻¹), and amount of P (9 a 84kg ha⁻¹). At 9 years old all the plots did not reached their maximum growth; and mean annual increment with bark (IMAc₉), standing stem biomass and site index at base age 10 (IS₁₀) ranged from 15 to 35m³ ha⁻¹ year⁻¹, 55 to 130Mg ha⁻¹, and 12 a 19m, respectively, with higher values on Três Barras region. This characterization was not possible to be detected before the 6th year, showing that early silvicultural and genetic decisions in *Pinus* need to be carefully considered. The productivity (IMAc₉) was positively related with IS₁₀, and both were related with higher levels of soil organic matter and available nitrogen, and with lower averages of minimum temperatures and water deficit. The most productive forests showed to be more uniform also (lower CVV and higher PB50), but confounded with superior genetic material. Therefore, the study corroborates with the role of nutrients, well drained soils, mild climatic conditions and low water deficit to explain the high yields of *P.taeda* in Brazil, comparatively to its original region. Based on these results, studies of fertilization, genetic material and more frequent use of bole analysis, associated with X-ray densitometry, might be recommended for *P.taeda*.

Keywords: Loblolly pine; productivity; growth ring analyse; uniformity; soil and climatic variables; X ray densitometry

1 INTRODUÇÃO

O incentivo aos plantios do gênero *Pinus* no Brasil, com o objetivo de suprir as demandas do setor madeireiro e de celulose e papel, viabilizou plantações florestais no sudeste e principalmente no sul do país a partir da década de 1960. Atualmente há mais de 1,8 milhões de hectares de *Pinus* plantados, onde aproximadamente 70% desses plantios concentram-se nos estados do Paraná e Santa Catarina (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF, 2009), sendo o *Pinus taeda* L. a principal espécie plantada.

Tais dados mostram que esta espécie se consolidou ecológica e economicamente na região sul, principalmente por possuir rápido crescimento e ampla adaptação, com produtividade média de $25 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, podendo ultrapassar em alguns sítios $45 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (KRONKA; BERTOLANI; HERRERA PONCE, 2005).

O *Pinus* é conhecido como um gênero pouco exigente nutricionalmente devido ao seu rápido crescimento e ausência dos sintomas de deficiência, essencialmente nas primeiras rotações (REISSMANN; WISNEWSKI, 2005). Porém, variações de produtividades tem sido observadas por diversos autores no decorrer dos anos em sítios com diferentes níveis nutricionais e ao longo das rotações (BALLONI, 1984; BIZON, 2005; DEDECEK et al., 2007; FERREIRA et al., 2001).

Além das influências edáficas, as variações de produtividade podem ser explicadas por fatores ambientais, tais como radiação solar, precipitação e temperaturas médias e extremas. A genética, os tratos silviculturais e suas interações afetam também as produtividades que a cultura pode alcançar nos diferentes sítios (LARCHER, 2006). Portanto, a produção florestal depende da obtenção de recursos naturais (radiação, água e nutrientes) e a utilização destes para fixar o CO_2 da atmosfera em biomassa (BINKLEY; STAPE; RYAN, 2004).

Segundo Taiz e Zeiger (2004), os níveis múltiplos de controle da fotossíntese permitem às plantas crescerem com êxito em um ambiente em constante mudança e em habitats diferentes. Sabe-se que a eficiência de uma árvore em fixar carbono, além de depender da absorção da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e da entrada de CO_2 através dos estômatos, é afetada principalmente pela disponibilidade de água e

nutrientes no meio. Além disso, Albaugh et al. (2004) afirmam que a sazonalidade é fator importante nesta fixação, pois as espécies de clima subtropical como o *P. taeda* reduzem a atividade fisiológica durante o rigor do inverno. Além disso, temperaturas extremas podem causar danos e interromper o crescimento temporariamente ou permanentemente (LANDSBERG, 2003).

Portanto, a importância de estudar o efeito das variáveis edáficas e climáticas no crescimento é a de conhecer como elas influenciam os processos metabólicos básicos.

O real entendimento de como cada fator influencia o crescimento da planta requer ensaios tradicionais de experimentação, como controle local e repetições que demandam grandes áreas e elevados custos experimentais. Alternativamente, os estudos em gradientes geográficos podem auxiliar na compreensão destes fatores, sem contudo possibilitar uma análise precisa de cada um.

Segundo Stape, Binkley e Ryan (2008), a ecologia da produção florestal pode ser avaliada através do crescimento, do suprimento e das taxas de utilização (eficiência) dos recursos naturais. Assim, o manejo desses recursos envolve a adoção criteriosa de técnicas e práticas silviculturais que eliminem ou minimizem limitações ao crescimento e, conseqüentemente à produtividade florestal.

Tradicionalmente, para se conhecer a capacidade produtiva do local e o crescimento do plantio em diferentes sítios são utilizados conceitos como o Índice de Sítio (IS), o Incremento Corrente Anual (ICA) e o Incremento Médio Anual (IMA), os quais são estimados utilizando dados de inventário oriundos de parcelas permanentes, ou temporárias, medidas em anos distintos.

No entanto, outros métodos podem ser adotados para melhor interpretar a dinâmica da floresta como a análise de tronco (ANATRO), técnica que permite avaliar, através dos anéis de crescimento, o crescimento do lenho e a produtividade (MARIA, 2002). Esta técnica pode ser utilizada em espécies que possuem anéis de crescimento, como é o caso do *Pinus taeda*, e tem a vantagem de permitir a determinação da produtividade ao longo dos anos mesmo em florestas que não foram inventariadas.

O projeto Produtividade Potencial do Pinus no Brasil – PPIB (INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS – IPEF) foi estabelecido em 2008, sendo composto por dez empresas florestais que manejam florestas de *Pinus* subtropical

(*Pinus taeda*) ou *Pinus* tropical (*Pinus caribaea*) no Brasil. O projeto estabeleceu uma ampla rede de parcelas permanentes de inventário para avaliar a magnitude da variação da produtividade do *Pinus* no Brasil, e modelar seu crescimento em bases ecofisiológicas.

Assim, objetivando iniciar a identificação e caracterização dos principais fatores edafo-climáticos e do povoamento associados à produtividade e padrões de crescimento do *Pinus taeda* antes do primeiro desbaste, este estudo analisa um gradiente geográfico com sítios nos Estados do Paraná e Santa Catarina. Desta forma, baseado na variabilidade de produtividades, solos e climas, formularam-se como hipóteses de trabalho as seguintes assertivas:

- i. A produtividade do *Pinus taeda* estará positivamente associada aos solos de maior fertilidade, notadamente com maiores teores de nitrogênio e fósforo (REISSMANN e WISNEWSKI 2005, BIZON, 2005);
- ii. A produtividade do *Pinus taeda* estará positivamente associada aos sítios com regimes hídricos mais favoráveis ao crescimento da espécie, com temperaturas mais amenas e menores déficit hídricos (SCHULTZ, 1997; SHIMIZU, 2005);
- iii. As árvores tenderão a ser mais uniformes nos sítios de maior produtividade e esta uniformidade tenderá a diminuir com a idade (BINKLEY et al., 2002, 2010);

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aspectos gerais do *Pinus taeda*

O *Pinus taeda* L. é uma espécie subtropical proveniente do sul dos Estados Unidos, e ocorre naturalmente em 15 estados, abrangendo desde Delaware até a Flórida e o leste do Texas. Segundo Schultz (1999), é uma das espécies mais resistente e versáteis devido à facilidade de reprodução e rápido crescimento em diferentes locais, o que a faz ser a principal espécie madeireira do sudeste dos EUA.

A introdução das primeiras sementes de *Pinus* (*Pinus taeda* e *Pinus elliottii* var. *elliottii*) no Brasil, ocorreu em 1936 pelo atual Instituto Florestal de São Paulo o qual instalou várias áreas experimentais pelo estado (KRONKA; BERTOLANI; HERRERA PONCE, 2005). O rápido crescimento e características adequadas da madeira de *Pinus* para as indústrias possibilitou a substituição da madeira de *Araucaria angustifolia*, provinda do desmatamento de áreas naturais do sul do país, por madeiras de florestas plantadas. Portanto, a partir da década de 60, através dos incentivos fiscais, iniciaram-se plantios comerciais de *P. taeda* nos estados do Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e São Paulo (GOLFARY, 1970; MACHADO, 1978; MCTAGUE, 1985).

Os primeiros plantios com o *P. taeda* foram originários de sementes sem grau de melhoramento, mas que obtiveram alta produção de biomassa lenhosa, mas com fuste tortuoso, bifurcado e com grande quantidade de ramos. Segundo Shimizu (2006), somente após diversos estudos com os materiais genéticos introduzidos no Brasil, foi possível selecionar algumas procedências de acordo com as características de cada região. Por exemplo, em locais onde as geadas não são tão severas, foi selecionado sementes da planície costeira da Carolina do Sul (EUA), enquanto que procedências da Carolina do Norte (EUA) demonstraram maior produtividade para regiões mais frias, como nas serras gaúchas e no planalto catarinense.

O melhoramento genético de sementes e as práticas silviculturais tem permitido o aumento da produtividade e da qualidade da madeira. As regiões de clima úmido, com invernos moderados, solos bem drenados e ausência de deficiência hídrica, são características essenciais para o estabelecimento de um povoamento de *Pinus taeda* (SCHULTZ, 1997; SHIMIZU, 2005). Atualmente, a região sul é detentora de 80% da

área florestal de *Pinus* no Brasil (1.794.720 ha), sendo 38% no estado do Paraná e 31% em Santa Catarina (ABRAF, 2010).

A diversidade de utilização do *P.taeda* faz desta uma espécie importante para o setor florestal, pois sua madeira pode ser destinada para diversas finalidades: i) à indústria laminadora, que a utiliza para fabricação de compensados; ii) para a indústria de serrados, que a transforma em madeira beneficiada ou é convertida em móveis; iii) para a indústria de papel e celulose; iv) para a indústria de painéis e chapas de fibra. Além disso, os resíduos de todas estas etapas tem sido aproveitados como biomassa para geração de vapor e energia (MARTO, 2009).

2.1.2 Produtividade do *Pinus*

As décadas de pesquisas com *Pinus* tem sido a base para a adoção criteriosa das práticas silviculturais, as quais tem sustentado, em conjunto com o melhoramento genético, os atuais níveis de produção. No entanto, acredita-se que para o *Pinus taeda* tais produtividades estejam aquém do potencial que a espécie possa alcançar, uma vez que a mesma mostra resposta a tratos culturais que aumentam o suprimento de recursos naturais (ALBAUGH et al., 1998; ALLEN; ALBAUGH, 1999; JOKELA; MARTIN; VOGEL, 2010; KING et al., 2008).

Assim, a capacidade de adaptação às condições edafoclimáticas explica o rápido crescimento e produtividade, podendo atingir aproximadamente $25 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, e ultrapassando em alguns sítios $45 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (KRONKA; BERTOLANI; HERRERA PONCE, 2005).

Para avaliar a capacidade produtiva de um local podem ser adotadas diferentes metodologias, as quais segundo Campos e Leite (2006), são definidas em três categorias: i) avaliação da qualidade do sítio pela vegetação indicadora; ii) avaliação por fatores climáticos, edáficos, fisiográficos e bióticos; iii) avaliação por meio da altura dominante e idade, com a definição de índice de sítio.

O índice de sítio tem sido utilizado para a classificação produtiva do *Pinus taeda* em diversas regiões. Trabalhos importantes sobre a classificação de sítio tem sido desenvolvidos ao longo dos anos para várias regiões, considerando diferentes métodos

de ajustes dos modelos matemáticos e dos diferentes padrões de desenvolvimento da altura média das árvores dominantes (SELLE, 1993; SELLE; SCHNEIDER; FINGER, 1994; TONINI et al., 2002).

Os padrões de crescimento da floresta podem ser explicados pela uniformidade do povoamento e a interação com o suprimento de recursos. Segundo Binkley et al. (2002), em povoamentos heterogêneos as árvores dominantes possuem maiores taxas de crescimento devido ao aumento de aquisição de recursos naturais e eficiência de seu uso, enquanto que as árvores menores (dominadas) crescem lentamente devido à limitação de aquisição de recursos e de sua eficiência.

Assim, a interação entre as árvores dominantes e dominadas reduzem o crescimento do povoamento (BINKLEY et al., 2010; BOYDEN; BINKLEY; SENOCK, 2005; BOYDEN; BINKLEY; STAPE, 2008). Estudos com eucalipto tem corroborado esta teoria, onde sítios mais heterogeneos são menos produtivos comparativamente aos uniformes, resultando em perdas de 14% da produção de biomassa do fuste (STAPE et al., 2010; RYAN et al., 2010).

Portanto, para comparar a produtividade entre sítios e a correlacioná-las com os fatores edáficos, climáticos e do povoamento, se faz necessário, além da classificação da capacidade produtiva, a predição do crescimento e da produção da floresta, expresso pelo incremento corrente anual (ICA) e incremento médio anual (IMA).

2.2 Caracterização do lenho

A madeira do *Pinus taeda* possui grã direita e boa trabalhabilidade, seu lenho é formado por alburno largo de coloração amarela com presença de anéis de crescimento marcantes e canais de resina; o cerne é estreito de tonalidade rosada a castanho claro (BERNI; BOLZA; CHRISTENSEN, 1979). Apesar da presença de canais resiníferos, esta espécie não é utilizada para extração de resina como outras espécies de *Pinus*. O lenho das coníferas (“softwoods”) são ausentes de vasos e geralmente sua densidade, resistência e dureza são baixas quando comparado às folhosas (FERREIRA, 2009). Sua estrutura é relativamente simples, composta de traqueídes (90 a 93%), células de raio (5 a 6%) e canais resiníferos (1%) (LEPAGE et al., 1986).

No lenho, há a formação de madeira juvenil e madeira adulta, as quais variam com a espécie e podem ser afetados pelo ambiente. A madeira juvenil é formada nos primeiros anos da árvore, porém, a separação entre madeira juvenil e adulta não é clara, pois não há uma mudança absoluta entre as células, havendo portanto uma fase de transição durante alguns anos (FLORSHEIM, 2010). Uma das formas de definição é avaliar as propriedades físicas e químicas da madeira, pois dentro da zona juvenil tais propriedades são muito variáveis e praticamente constantes na madeira adulta (BALLARIN; PALMA, 2003). A madeira juvenil possui menor massa específica, parede celular delgada, traqueídes mais curtos e propriedades mecânicas inferiores comparativamente à madeira adulta, entretanto, a modificação dessas propriedades são constantes até se estabilizarem na fase adulta (BENDTSEN; SENFT, 1986; LATORRACA; ALBUQUERQUE, 2000),.

Schultz (1997) afirma que mais de 85% do volume do lenho do *P. taeda*, aos 15 anos de idade, é formado por madeira juvenil. Diversos trabalhos tem sido realizados para definir a idade de transição entre o lenho inicial e o lenho adulto do *Pinus taeda*, a qual tem variado de 10 a 18 anos (BALLARIN; PALMA, 2003; BENDTSEN; SENFT, 1986; LOO; TAUER; McNEW, 1985; SIQUEIRA, 2004).

2.2.1 Massa específica

A massa específica é considerada a característica tecnológica mais importante da madeira, pois dela dependem diretamente inúmeras outras propriedades, tais como a resistência mecânica e o grau de estabilidade dimensional (LATORRACA; ALBUQUERQUE, 2000). Na madeira juvenil a massa específica pode ser até 60% menor que a madeira adulta. Segundo Schultz (1997), a massa específica do *P. taeda* aumenta em relação a sua idade, até os 35 anos, sendo que entre as idades de 1 a 5 anos é em média $0,36 \text{ g cm}^{-3}$, aumentando rapidamente nas idades de 5 a 10 anos para $0,45$ a $0,55 \text{ g cm}^{-3}$.

A definição da massa específica da madeira é a razão da quantidade em massa do material lenhoso pelo volume do mesmo material, a qual pode variar entre as espécies e dentro da mesma espécie devido à própria idade, ao ritmo de crescimento,

melhoramento genético, manejo do plantio e aos fatores de crescimento e silviculturais (SIQUEIRA, 2004). Sua determinação pode ser feita de diversas formas de acordo com o teor de umidade, denominado de massa específica aparente a uma determinada umidade (normalmente a 12%), sendo que a massa específica aparente a 0% é também denominada de densidade básica da madeira, a qual é a mais utilizada para possibilitar a comparação entre as espécies.

A densidade básica média para árvores de *P. taeda* aos 13 anos de idade, provenientes de plantios no Paraná, foi de $0,41 \text{ g cm}^{-3}$ (SANTINI; HASELEIN; GATTO, 2000), enquanto que o Wood Handbook (1999) e Tomaselli (1979) relatam que a densidade básica média da mesma espécie é de $0,47 \text{ g cm}^{-3}$.

Albaugh et al. (2004) observou menores valores da massa específica da madeira de *P. taeda* em sítios submetidos ao tratamento fertilizado, os quais foram mais produtivos em comparação à testemunha.

Apesar de Rigatto, Dedecek e Mattos (2004) não encontrarem diferença significativa na redução da densidade básica da madeira em sítios mais produtivos de *P. taeda*, os autores observaram uma tendência a valores menores. Hassegawa (2003) não encontrou diferença na densidade básica da madeira de árvores de *P. taeda* aos 25 anos em três classes diamétricas estudadas (mesmo sítio) plantados na África do Sul.

2.2.2 Anéis de Crescimento

Os anéis de crescimento, formados pelo lenho inicial e tardio, ocorrem no xilema do tronco e das raízes de algumas espécies arbóreas, pela atividade periódica do câmbio, havendo a diferenciação de suas células (MARIA, 2002). O lenho inicial (primaveril) é formado no período de alta atividade fisiológica, onde há intensa atividade cambial, ou seja, rápido crescimento, sendo caracterizado anatomicamente pela redução da parede das traqueídes e visualmente pela coloração clara da madeira. No final do período vegetativo há a formação do lenho tardio, o qual ocorre com a redução do crescimento da árvore, identificado a olho nu pela coloração marrom escura nas

coníferas (Figura 1). Nesta fase, as paredes das traqueídes são espessas e seu lume é reduzido, com massa específica maior em relação ao lenho inicial (FERREIRA, 2009).



Figura 1 – Localização da medula (M), do lenho inicial (LI) e do lenho tardio (LT) em um corte transversal de *Pinus taeda*

Assim, a formação dos anéis é dependente das variações sazonais do clima – radiação, temperaturas e regime hídrico – resultando no incremento anual distinto das camadas de crescimento do xilema. A demarcação dos anéis do *P. taeda* é facilmente visualizada, principalmente devido ao fato da espécie ser plantada em regiões temperadas com estações bem definidas, induzindo a sazonalidade da atividade cambial. No entanto, quando plantada em regiões tropicais e subtropicais a periodicidade da atividade cambial pode ser menos definida, podendo ocorrer também a presença de anéis falsos ao longo de seu crescimento (ZIMMERMANN; BROWN, 1971).

Os anéis de crescimento são bancos de dados naturais que contêm informações ecológicas e históricas de longo prazo, que possibilitam quantificar e reconstruir as variações climáticas ocorridas em um intervalo de tempo anterior às medições instrumentais diretas (KITZBERGER; VEBLEN; VILLALBA, 2000).

Os dados obtidos através da análise dos anéis de crescimento, bem como da análise do tronco (ANATRO), como registros de crescimento, qualificação e acompanhamento dos volumes de madeira produzidos e estimativas de biomassa, são instrumentos importantes para a monitoração e tomada de decisão no manejo florestal (CORREA, 2003). Entretanto, apesar de diversos estudos sobre os anéis de crescimento de coníferas e folhosas na área de tecnologia e anatomia da madeira (BALLARIN; PALMA, 2003; FERREIRA, 2009; ROLIM; FERREIRA, 1974; TOMAZELLO FILHO et al, 2004), há a necessidade de maior integração destas técnicas como instrumentos do manejo florestal no Brasil.

2.3 Fatores de crescimento

Para compreender a capacidade produtiva de uma floresta, se faz necessário estudar as interações entre a planta e o ambiente, determinando os fatores que afetam seu crescimento e desenvolvimento. Fatores como melhoramento genético de algumas espécies florestais e práticas silviculturais, tem sido estudados e discutidos por diversos autores ao longo dos anos para conhecer o potencial produtivo de uma determinada floresta (BRADSHAW Jr.; ZSUFFA, 1992; GONÇALVES et al., 2004; LINCOLN et al., 2007; NEARY et al., 1990; STETTLER; WATERWORT et al., 2007; TIARKS; HAYWOOD, 1986).

Por meio do melhoramento genético, é possível a obtenção de materiais resistentes a determinadas pragas e doenças (GUIMARÃES et al., 2010; QUESADA et al., 2010; XAVIER et al., 2007), melhores adaptados a certas condições edáficas e climáticas, tornando-os mais eficientes na utilização dos recursos (BINKLEY; RYAN, 2008; GONZALEZ-BENECKE; MARTIN, 2010; McKEAND et al, 2006; NEARY et al., 1990; STAPE; RYAN et al., 2010; TESKEY et al., 1987) e conseqüentemente melhores quanto ao crescimento e desenvolvimento (BOYLE; COSSALTER; GRIFFIN, 1997; STETTLER; BRADSHAW Jr.; ZSUFFA, 1992).

As práticas silviculturais tais como densidade e época do plantio, desbaste, poda, manejo de resíduos, subsolagem, fertilização, controle de ervas daninhas, pragas e doenças, dentre outras, também tem sido aprimorada, principalmente para o eucalipto e *Pinus*, de modo a evitar limitações ao crescimento e à produtividade florestal (ALBAUGH; ALLEN; FOX, 2006; BINKLEY; STAPE, 2004; BIZON, 2005; ELESBÃO, 2008; GONÇALVES et al., 2004; JOHNSON, 1990; JOKELA; MARTIN; VOGEL, 2010; SAMUELSON, et al., 2004; VOGEL et al, 2005). Em uma revisão detalhada sobre os efeitos da silvicultura na produtividade florestal, Gonçalves et al (2004) afirmam que o manejo dos recursos (distribuição, captação e uso) através de práticas silviculturais é o grande desafio da silvicultura, sendo possível identificar e atenuar os fatores limitantes do crescimento do povoamento ou das árvores individuais.

Portanto, a produtividade florestal depende principalmente das taxas fotossintéticas existentes na copa, as quais, por sua vez, são influenciadas por fatores

internos e externos que podem limitar o rendimento assimilatório (BINKLEY; STAPE; RYAN, 2004; LARCHER, 2006). Estas taxas estão intimamente relacionadas com o clima - radiação solar, absorção de CO₂, precipitação, temperatura e umidade do ar; e com a disponibilidade de nutrientes minerais no solo (CLANCY; WAGNER; REICH, 1995; LAMBERS; CHAPIN III; PONS, 2008). Entretanto, em países tropicais como o Brasil, com sazonalidade de chuvas e solos intemperizados (latossolos e argissolos), a capacidade produtiva é afetada principalmente pelo suprimento de água e nutrientes no solo (NEVES, 2000).

2.3.1 Fatores climáticos

A radiação solar, as temperaturas, umidade do ar e precipitação são os principais fatores climáticos que influenciam no crescimento e desenvolvimento de uma floresta (TROVATI, 1982). Sabe-se que muitas das variações ocorridas na produtividade florestal podem ser explicadas pela variação da interceptação de luz do dossel, a qual está relacionada diretamente com as taxas de fotossíntese e partição de carbono na planta. Em plantios de *Pinus taeda*, a baixa disponibilidade de água e temperaturas extremas tem sido os principais fatores que afetam negativamente a área foliar e consequentemente reduzem a interceptação e uso da radiação (ALLEN; ALBAUGH, 1999).

Para as coníferas, a resposta fotossintética à temperatura média anual é gradual, onde a temperatura ótima varia entre 10 a 25 °C. Assim, altas temperaturas podem reduzir a assimilação de carbono da planta devido ao aumento da transpiração e ao fechamento dos estômatos. As geadas também reduzem a atividade fotossintética por um certo período de tempo em consequência do congelamento das células, sendo que o limite inferior de temperatura para absorção de CO₂ nas acículas de coníferas é cerca de -3 °C (LARCHER, 2006). Porém, o *Pinus* possui ampla capacidade de aclimação em variações climáticas de curto e longo prazos (RUNDEL; YODER, 1998).

A intensidade das geadas são menores em locais de clima subtropical como o sul do Brasil (latitude entre 23 a 30° S), diferentemente de países temperados (latitudes maiores que 30°), onde no inverno as temperaturas durante o dia variam de 5 a 15°C e

à noite podem chegar a valores de até - 8 °C. É constatado que o *Pinus taeda* possui excelente adaptação na região sul do Brasil, no entanto, pouco se conhece sobre a variação sazonal das taxas fotossintéticas e a influência dessas taxas na produção florestal ao longo do ano.

De todos os recursos que a planta necessita para seu crescimento e desenvolvimento, a água é o mais limitante à produtividade florestal por controlar a abertura e fechamento estomático, a absorção de nutrientes do solo, e obviamente ser o meio onde todas as reações químicas e bioquímicas ocorrem como, por exemplo, as reações na fotossíntese (BLAKE; TSCHALPLINSKI, 1992; LANDSBERG, 2003; SANDS; MULLIGAN, 1990).

Segundo Binkley, Stape e Ryan (2004), uma folha com o suprimento de água adequado, pode fixar mais carbono por unidade de luz interceptada do que uma folha com estresse hídrico e estômatos fechados, pois aumentando o suprimento de um recurso limitante pode aumentar a eficiência de uso de outros recursos. Assim, mesmo um pequeno desequilíbrio no fluxo de água pode causar déficits hídricos e mau funcionamento de inúmeros processos.

O fluxo e a quantidade de água que infiltra e permanece no solo dependem da densidade de plantas, do comportamento fisiológico da planta, da estrutura e arquitetura do dossel e, sobretudo, do tipo de solo e da distribuição do tamanho de seus poros. Portanto, uma grande capacidade de armazenamento de água no solo representa aspecto favorável para a vegetação, pois proporciona melhores condições de sobrevivência durante períodos sem precipitação.

Estudos ecofisiológicos realizados com eucalipto no Brasil, relataram o acréscimo na produtividade primária líquida acima do solo com o aumento da disponibilidade de água para a floresta, havendo um acréscimo na interceptação de luz e na eficiência fotossintética, sendo que os sítios com alta utilização e eficiência dos recursos (água, luz e nutrientes) também possuíram valores baixos de déficit de pressão de vapor e menos estresse hídrico (RYAN et al., 2010; STAPE; BINKLEY; RYAN, 2004; 2008; STAPE et al, 2010).

Em um transecto realizado na Bahia, com ampla variabilidade edafoclimática, Stape (2002) concluiu que a precipitação está extremamente relacionada com a

amplitude de produtividade do eucalipto na região, a qual explicou 80% da variação do IMA.

Na Austrália, ensaios com irrigação e fertilização em plantios de *Pinus radiata* concluíram que a água foi o principal fator limitante do crescimento, sendo que nas parcelas irrigadas, tanto a biomassa foliar quanto o volume do tronco foram maiores quando comparado aos demais tratamentos (BENSON; MYERS; RAISON, 1992; SNOWDON; BENSON, 1992).

Pesquisas similares, buscando entender os fatores limitantes do *P. taeda*, relataram resultados de biomassa do fuste semelhantes para os sítios irrigados, havendo um aumento de 24 para 35 Mg ha⁻¹ (SAMUELSON; JOHNSEN; STOKES, 2004); e de 25 para 36 Mg ha⁻¹ (WILLIAMS; GRESHAM, 2006). Tais trabalhos também demonstram que maiores produtividades podem ser alcançadas quando há em conjunto a disponibilidade de água e nutrientes, aumentando a eficiência de uso dos recursos e consequentemente a eficiência de crescimento da floresta.

Cobb et al. (2008) quantificaram o efeito da disponibilidade de água e nitrogênio na biomassa acima do solo em plantios de coníferas (*P. taeda* e *P. elliotii*) e folhosas (*Liquidambar styraciflua* e *Platanus occidentalis*) com 6 anos de idade, onde no tratamento irrigado, houve aumento na eficiência de crescimento (crescimento do fuste por unidade de biomassa foliar) e na eficiência de uso do nitrogênio (crescimento do fuste por unidade de nitrogênio foliar) para o *Pinus taeda* e *Platanus occidentalis*. Porém, não houve resposta significativa da irrigação na biomassa dos *Pinus*.

Semelhantemente, em trabalho realizado com *P. taeda* por Albaugh et al. (2004), houve um crescimento relativamente pequeno no tratamento irrigado, devido à boa distribuição pluviométrica ao longo do ano e baixo déficit hídrico. Devido a estes resultados, os autores enfatizam a necessidade de reavaliar o conceito da água ser o principal fator limitante do sítio florestal em áreas de clima mais ameno e com boa distribuição pluviométrica.

2.3.2 Fatores edáficos

Para compreender como o solo influencia no crescimento e desenvolvimento da planta ou de uma floresta, algumas propriedades e características do solo devem ser consideradas, conforme afirmam Fisher e Binkley (2000). Sendo estas, a textura (determina capacidade de retenção de umidade e nutrientes no solo), a estrutura (modifica a influência da textura na capacidade de retenção de água e determina a aeração e a capilaridade), a cor (indica a quantidade de matéria orgânica no solo) e a profundidade (que determina a quantidade de água que pode ser retida e o volume de solo explorável pelas raízes e nutrientes).

As modificações edáficas podem ser causadas pelo clima, pela topografia e remoção da vegetação, porém, a forma e o grau de perturbação antrópica determinam as condições químicas, físicas e biológicas do solo a longo prazo. Portanto, se faz necessário o conhecimento das características e propriedades do solo para que o potencial produtivo seja mantido ou melhorado de forma racional e sustentável (GONÇALVES, 2002).

Pesquisas sobre as relações das propriedades edáficas (físico-química) com a produtividade florestal tem sido realizadas afim de fornecer subsídio para a definição da espécie a ser plantada e as práticas de manejo adequadas para um determinado sítio (BIZON, 2005; CARVALHO et al., 1999). Gonçalves, Demattê e Couto (1990) evidenciam que os aspectos físicos que determinam a capacidade de retenção e armazenamento de umidade e aeração do solo se relacionam, com mais frequência, com o potencial produtivo da floresta do que as propriedades químicas. Entretanto, além das propriedades físicas serem importantes principalmente devido à umidade do solo, como relatam diversos autores, Fisher e Binkley (2000) afirmam que tais propriedades também influenciam diretamente na química do solo e até mesmo no acúmulo de matéria orgânica e na atividade biológica no solo.

Dedecek et al. (2008), avaliando a influência do sítio no desenvolvimento do *Pinus taeda* aos 22 anos no Paraná, concluíram que a textura do solo foi o fator que mais influenciou na altura das plantas, sendo que as parcelas mais produtivas correlacionaram-se com a maior retenção e disponibilidade de umidade no solo.

Bognola et al. (2010) relatam que os sítios com teores muito semelhantes de areia e argila, com dominância da fração argila, apresentaram maior incremento médio anual das árvores de *P. taeda*.

Não obstante, as plantas necessitam para sua nutrição de uma grande variedade de elementos químicos, que participam de diversos processos essenciais à planta. Assim, em espécies florestais, é necessário que o suprimento de nutrientes seja adequado quantitativamente, sem haver falta ou excesso, e, também, que esteja em sincronia com o crescimento das plantas, para que os mesmos sejam mais eficientemente absorvidos e utilizados.

Também, para que a planta possua uma boa nutrição, condição necessária à obtenção de alta produção de matéria seca e bom desenvolvimento, é necessário que cada nutriente esteja adequado do ponto de vista quantitativo (balanço nutricional) e que haja proporções adequadas entre os mesmos (equilíbrio nutricional). Conforme Larcher (2006), a eficiência de absorção de nutrientes pela raiz e os equilíbrios nutricionais adequados são características determinadas geneticamente, sendo que essa absorção influencia o crescimento pela acumulação de biomassa do vegetal, e a assimilação do carbono torna disponível o material no qual os minerais serão incorporados.

Devido à eficiência de absorção de nutrientes pelas raízes, a rapidez de crescimento e a ausência de sintomas de deficiência, o *Pinus taeda* é considerado uma espécie de baixa exigência nutricional (REISSMANN; WISNEWSKI, 2005). No Brasil, tal constatação acarretou na ausência de fertilização mineral (FERREIRA et al., 2001). Porém, esta visão tem sido questionada e modificada ao longo dos anos, já que diversos autores tem encontrado resultados significativos referentes à produtividade quando há maior disponibilidade de nutrientes para o *Pinus* (BIZON, 2005).

O Al^{3+} , H+Al e P foram os fatores de solo limitantes no crescimento de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* na região do cerrado em Prata, Minas Gerais, encontrados por Bila (2010). Balloni (1984), estudando o efeito da adubação e da calagem em plantios de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* em São Paulo, observou que o N não promoveu nenhuma alteração no crescimento, enquanto que o calcário foi o fertilizante

que mais proporcionou resposta, seguido do P e do K, sendo que o tratamento com NPK e calagem obteve um ganho de 89% no volume quando comparado à testemunha.

Avaliando o efeito da adição de resíduo industrial (lama de cal) e cloreto de potássio sobre o crescimento do *Pinus taeda* no município de Três Barras – SC, Paim (2007) concluiu que a lama de cal proporcionou um ganho de 14% no volume total aos 8 anos de idade e maior concentração de Ca, N e P nas acículas quando comparado à testemunha.

Bizon (2005), ao estudar 8 sítios de *P. taeda* com produtividade variando de 11 a 27 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ na região de Jaguariaíva, concluiu que a produtividade dos locais avaliados possuíram correlação com o nitrogênio mineralizável e o fósforo disponível até 100 cm de profundidade.

Rigatto, Dedecek e Mattos (2005), além de concluírem que os solos de textura argilosa propiciaram maior produtividade ao *P. taeda*, também constataram a importância dos atributos químicos, onde houve correlação entre o pH, K e Ca + Mg com a produtividade. Resultados semelhantes com *P. taeda* foram encontrados no Paraná por Dedecek et al. (2008), onde os sítios mais produtivos apresentaram maiores teores de K e P, pH mais elevado, maior saturação por bases e menor saturação por Al. Teores de Zn, Cu e B também tem sido levantado como nutrientes limitantes do crescimento em *Pinus taeda* (REISSMANN; ZOTTL, 1987; SANTOS FILHO et al., 1992/1993).

Com a incorporação de NPK, Ca, Mg e B em plantios de *P. taeda* localizados em solos pobres e arenosos na Carolina do Norte, Albaugh et al. (1998) observaram aumento do incremento corrente anual (ICA) em 52%, 109%, 120% e 152% respectivamente ao longo de quatro anos (1992 a 1995), sendo que o volume das parcelas fertilizadas (no final do quarto ano) foi de 70 m³ ha⁻¹, enquanto que o controle atingiu o volume de 39 m³ ha⁻¹. Os autores relatam que os níveis “naturais” de nutrientes do solo estudado, limitaram extremamente a produção de área foliar e a eficiência de crescimento do volume do fuste, os quais estão diretamente relacionados com a eficiência fotossintética, manutenção do custo de respiração e com a alocação de biomassa. Alguns trabalhos realizados com *P.taeda*, como o de Murthy et al. (1996),

concluem que a maior disponibilidade de nutrientes no solo aumenta a taxa fotossintética da planta.

Bizon (2005) relata que adoção de técnicas silviculturais de remoção somente do lenho e cultivo conservacionista aumentam a sustentabilidade do cultivo de *Pinus taeda* em relação à um cenário de cultivo intensivo, concluindo que se faz necessário não somente o uso de fertilizantes, mas a adoção de práticas conservacionistas no sistema.

Além da importância do aumento dos níveis de nutrientes no solo através da fertilização, vale ressaltar que a ciclagem de nutrientes em plantios de *Pinus* é extremamente relevante, principalmente quando o gênero é plantado em solos muito pobres, pois ocorre aumento da manta orgânica no solo e os nutrientes mineralizados provenientes da serapilheira representam um fluxo importante na demanda nutricional da floresta (REISSMANN; WISNEWSKI, 2005; SCHUMACHER; VIEIRA; WITSCHORECK, 2008).

Schumacher, Vieira e Witschoreck (2008) constataram em plantios de *P. taeda* em Cambará do Sul que os nutrientes Ca e o Mn foram os que apresentaram maiores concentrações entre os nutrientes (macro: N, P, K, Mg, S; micro: Fe, Zn, B e Cu) que retornam ao solo através da deposição de serapilheira. Recentemente, em ensaio com *P. taeda* no Alabama, Zerpa et al. (2010) observaram que por meio do aumento do piso florestal (de 10 Mg ha⁻¹ para 19 Mg ha⁻¹) houve acréscimo de 30% da queda de serapilheira (devido ao aumento da área foliar) e 36% (109 m³ ha⁻¹) do volume do fuste quando comparado com a testemunha (80 m³ ha⁻¹) aos 10 anos de idade. Estes estudos demonstram a relevância da matéria orgânica do solo (incorporação dos resíduos de colheita e deposição de serapilheira), a qual possui decisiva influência no condicionamento da fertilidade e na estruturação do solo (TIBAU, 1984).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

O ensaio experimental faz parte da rede experimental do Projeto Produtividade Potencial do Pinus no Brasil - PPPIB (INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS - IPEF), composto por 10 empresas florestais o qual possui 392 parcelas de *Pinus taeda* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* entre as idades de 6 a 17 anos localizadas no estado de Minas Gerais, São Paulo, Paraná e Santa Catarina.

Para obter uma ampla diversidade de solos, clima e produtividade, o PPPIB selecionou em cada empresa plantios de alta, média e baixa produtividade, sem desbaste, e instalou parcelas com área útil de aproximadamente 700 m² e espaçamento predominante de 3 metros x 2 metros, instaladas em 2006 e 2007. O inventário de todas as parcelas ocorre anualmente desde o ano de instalação do ensaio, onde são mensurados o diâmetro à altura do peito (DAP) de todas as árvores da área útil e a altura das três primeiras linhas do plantio e de 4 a 8 árvores dominantes (com maior DAP) da parcela.

Baseados nos resultados de inventário realizado em outubro de 2008, calculou-se o incremento médio anual (IMA) de todas as parcelas de *P. taeda* (308 parcelas) as quais foram ordenadas em relação à produtividade (da menor para maior). A partir da amplitude de produtividade e distribuição geográfica, foram selecionadas 24 parcelas de *P. taeda*, variando de baixa à alta produtividade, entre 8 a 10 anos de idade, sem desbaste. Estas 24 parcelas selecionadas estão localizadas nos estados do Paraná e Santa Catarina (Tabela 1).

Tabela 1 – Caracterização das parcelas de inventário de *Pinus taeda*, ordenado por região: procedência de cada parcela e país onde foram coletados os materiais genéticos para formação dos respectivos pomares ou áreas de produção de sementes, área útil da parcela, localização geográfica, altitude, precipitação média anual (PPT), temperaturas máximas (Tmax) e mínimas (Tmin) médias das parcelas selecionadas. APS– Área de Produção de Sementes; PSC – Pomar de Sementes Clonais

Reg	Parc	Município	Plantio	Procedência	Área	Latitude	Longitude	Altitude	PPT	Tmax	Tmin
-	#	-	(ano)	-	(m ²)	(S)	(W)	(m)	(mm ano ⁻¹)	(°C)	(°C)
JGR	2	Jaguariaíva - PR	2000	APS Pouso Alto (Pisa/ Brasil)	573,5	24°21'	49°38'	1101	1327,9	25,3	13,4
JGR	4	Jaguariaíva - PR	2000	PSC Pouso Alto (Pisa/ Brasil)	660,5	24°12'	49°21'	936	1327,9	25,3	13,4
JGR	6	Jaguariaíva - PR	2000	Indefinida	766,4	24°25'	49°24'	1029	1327,9	25,3	13,4
JGR	10	Jaguariaíva - PR	2000	PSC Pouso Alto (Pisa/ Brasil)	580,6	24°13'	49°27'	830	1327,9	25,3	13,4
JGR	14	Jaguariaíva - PR	2000	APS Pouso Alto (Pisa/ Brasil)	715,1	24°27'	49°26'	812	1327,9	25,3	13,4
JGR	15	Jaguariaíva - PR	2000	APS Pouso Alto (Pisa/ Brasil)	673,4	24°27'	49°26'	1029	1445,7	24,1	11,7
PTG	1	Ponta Grossa - PR	2000	Indefinida	752,6	24°44'	50°29'	890	1359,5	24,6	13,9
PTG	3	Ponta Grossa - PR	2000	Indefinida	752,6	24°44'	50°30'	890	1359,5	24,6	13,9
PTG	7	Ponta Grossa - PR	2000	Indefinida	792,0	24°44'	50°27'	996	1359,5	24,6	13,9
PTG	12	Ponta Grossa - PR	2000	Indefinida	600,0	24°44'	50°27'	812	1359,5	24,6	13,9
RNG	5	Rio Negrinho - SC	2000	APS Santa Vera A (Zimbabwe)	694,6	26°11'	49°41'	812	1780,5	23,5	12,8
RNG	8	Rio Negrinho - SC	2000	APS Santa Vera A (Zimbabwe)	633,4	26°11'	49°41'	856	1780,5	23,5	12,8
RNG	9	Rio Negrinho - SC	2000	APS Santa Vera A (Zimbabwe)	614,0	26°11'	49°31'	869	1780,5	23,5	12,8
RNG	11	Rio Negrinho - SC	2000	APS Santa Vera A (Zimbabwe)	636,6	26°11'	49°41'	1018	1780,5	23,5	12,8
RNG	13	Rio Negrinho - SC	2000	APS Santa Vera A (Zimbabwe)	617,4	26°11'	49°41'	864	1780,5	23,5	12,8
TRB	16	Três Barras - SC	1998	PSC Rigesa - Família 4 (Brasil)	696,9	26°09'	50°15'	837	1445,7	24,1	11,7
TRB	17	Três Barras - SC	1998	PSC Rigesa - Família 4 (Brasil)	561,6	26°09'	50°15'	837	1445,7	24,1	11,7
TRB	18	Três Barras - SC	1998	PSC Rigesa - Família 4 (Brasil)	606,0	26°09'	50°15'	837	1445,7	24,1	11,7
TRB	19	Três Barras - SC	1998	PSC Rigesa - Família 4 (Brasil)	718,6	26°09'	50°15'	837	1445,7	24,1	11,7
TRB	20	Três Barras - SC	1999	PSC Rigesa - Família 4 (Brasil)	585,1	26°03'	50°15'	782	1445,7	24,1	11,7
TRB	21	Três Barras - SC	1999	PSC Rigesa - Família 4 (Brasil)	642,0	26°03'	50°15'	782	1445,7	24,1	11,7
TRB	22	Três Barras - SC	1999	PSC Rigesa - Família 4 (Brasil)	610,5	26°03'	50°15'	782	1445,7	24,1	11,7
TRB	23	Três Barras - SC	1999	PSC Rigesa - Família 4 (Brasil)	622,7	26°03'	50°15'	782	1445,7	24,1	11,7
TRB	24	Três Barras - SC	1999	PSC Rigesa - Família 4 (Brasil)	620,6	26°03'	50°15'	782	1445,7	24,1	11,7

Todas as parcelas estudadas estão em áreas de empresas florestais (Masisa em Ponta Grossa, Valor Florestal em Jaguariaíva, Renova em Rio Negrinho e Rigesa em Três Barras), as quais representam regiões típicas de plantio de *P. taeda* da região sul e estão localizadas entre as latitudes 24°12' S e 26°11' S e as longitudes 49°21' W e 50°29' W, com precipitação anual média variando de 1330 a 1780 mm.

A região sul é classificada como clima subtropical/ temperado úmido - Cf (Koeppen), caracterizado por verão quente e chuvoso e inverno rigoroso sem períodos prolongados de seca. O clima Cf pode ser dividido em Cfa (subtropical – temperatura média mensal no verão acima de 22° C) e Cfb (temperado – área de maiores altitudes e temperatura mais amena no verão). Neste estudo, todas as parcelas pertencentes à quatro regiões distintas (Jaguariaíva, Ponta Grossa, Três Barras e Rio Negrinho) são classificadas como clima temperado úmido – Cfb, como podemos observar na Figura 2.

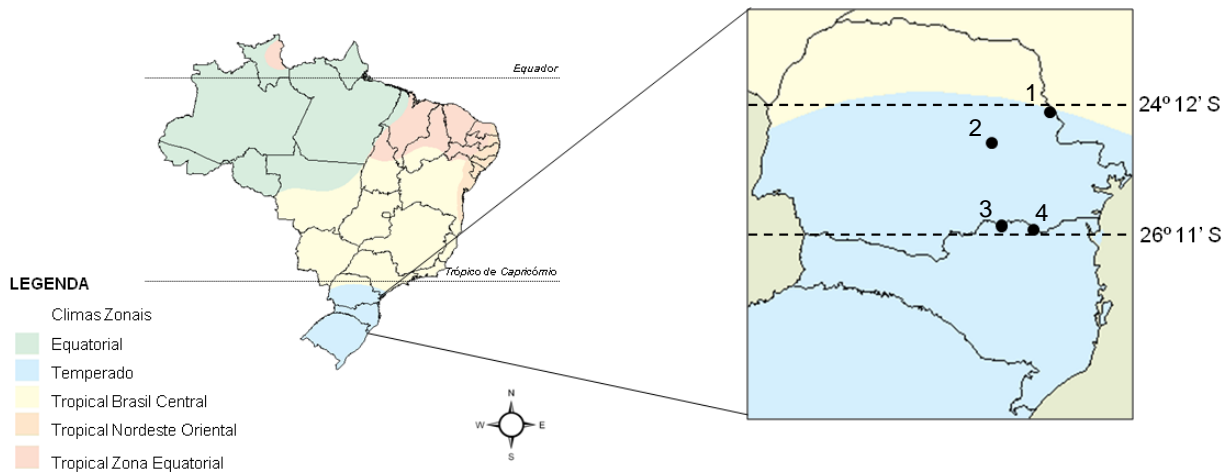


Figura 2 – Mapa climático do Brasil com a localização das quatro regiões estudadas: 1 – Jaguariaíva (PR); 2 – Ponta Grossa (PR); 3 – Três Barras (SC); 4 – Rio Negrinho (SC). Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2005)

3.2 Inventário dendrométrico

Os inventários dendrométricos foram realizados anualmente desde 2006 nas parcelas de Jaguariaíva-PR e Três Barras-SC e nas demais desde 2007, até o ano de 2009, onde a quantidade de árvores por parcela variaram de 90 a 110 árvores, com

área de aproximadamente 700 m² (Tabela 2). Foram medidos de forma rigorosa os diâmetros à altura do peito (DAP) de todas as árvores e as alturas das três primeiras linhas e das quatro árvores dominantes, com maior DAP, de cada parcela.

Tabela 2 – Idade do inventário de 2008 utilizado para seleção das parcelas, área da parcela, espaçamento, densidade, ano de instalação e medições realizadas desde o ano de instalação, ordenados por região

Região	Parcela	Idade	Area	Espaçamento	Densidade	Instalação	Medições
-	#	(ano)	(m ² parcela ⁻¹)	(m x m)	(arv ha ⁻¹)	(ano)	(ano)
JGR	2	9,0	573,5	3 x 2	1656	2006	2006 a 2009
JGR	4	9,0	660,5	2,9 x 2,6	1423	2006	2006 a 2009
JGR	6	9,0	766,4	3 x 2,5	1253	2006	2006 a 2009
JGR	10	9,0	580,6	3 x 2	1636	2006	2006 a 2009
JGR	14	9,0	715,1	3 x 2,5	1329	2006	2006 a 2009
JGR	15	9,0	673,4	3 x 2,5	1381	2006	2006 a 2009
PTG	1	8,5	752,6	3 x 2,5	1249	2007	2008
PTG	3	8,5	752,6	3 x 2,5	1262	2007	2008
PTG	7	8,5	792,0	3 x 2,5	1174	2007	2008
PTG	12	8,5	600,0	3 x 2	1567	2007	2008
RNG	5	9,0	694,6	2,9 x 2,6	1325	2007	2008, 2009
RNG	8	9,0	633,4	3 x 2	1437	2007	2008, 2009
RNG	9	9,0	614,0	3 x 2	1466	2007	2008, 2009
RNG	11	9,0	636,6	3 x 2	1430	2007	2008, 2009
RNG	13	9,0	617,4	3 x 2	1474	2007	2008, 2009
TRB	16	10,0	696,9	3 x 2	1392	2006	2006 a 2009
TRB	17	10,0	561,6	3 x 2	1585	2006	2006 a 2009
TRB	18	10,0	606,0	3 x 2	1485	2006	2006 a 2009
TRB	19	10,0	718,6	3 x 2	1517	2006	2006 a 2009
TRB	20	9,0	585,1	3 x 2	1675	2006	2006 a 2009
TRB	21	9,0	642,0	3 x 2	1526	2006	2006 a 2009
TRB	22	9,0	610,5	3 x 2	1638	2006	2006 a 2009
TRB	23	9,0	622,7	3 x 2	1654	2006	2006 a 2009
TRB	24	9,0	620,6	3 x 2	1611	2006	2006 a 2009

Com base nos dados de inventário, desenvolveu-se uma relação hipsométrica através da eq. (1), por parcela e por idade para estimar a altura das demais árvores de cada parcela (CAMPOS; LEITE, 2006).

$$\ln(H) = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{DAP} \quad (1)$$

Onde:

H = Altura (m)

DAP = Diâmetro à altura do peito (cm)

β_0 e β_1 = parâmetros

3.3 Detalhamento das metodologias utilizadas

Devido às coletas de campo, processamento e análise do material e da determinação de diversas equações estarem interligadas, elaboraram-se os diagramas das Figuras 3 e 4 apresentando os passos para a determinação das equações de volume e curvas de sítio (Figura 3) e do volume e biomassa do povoamento (Figura 4).

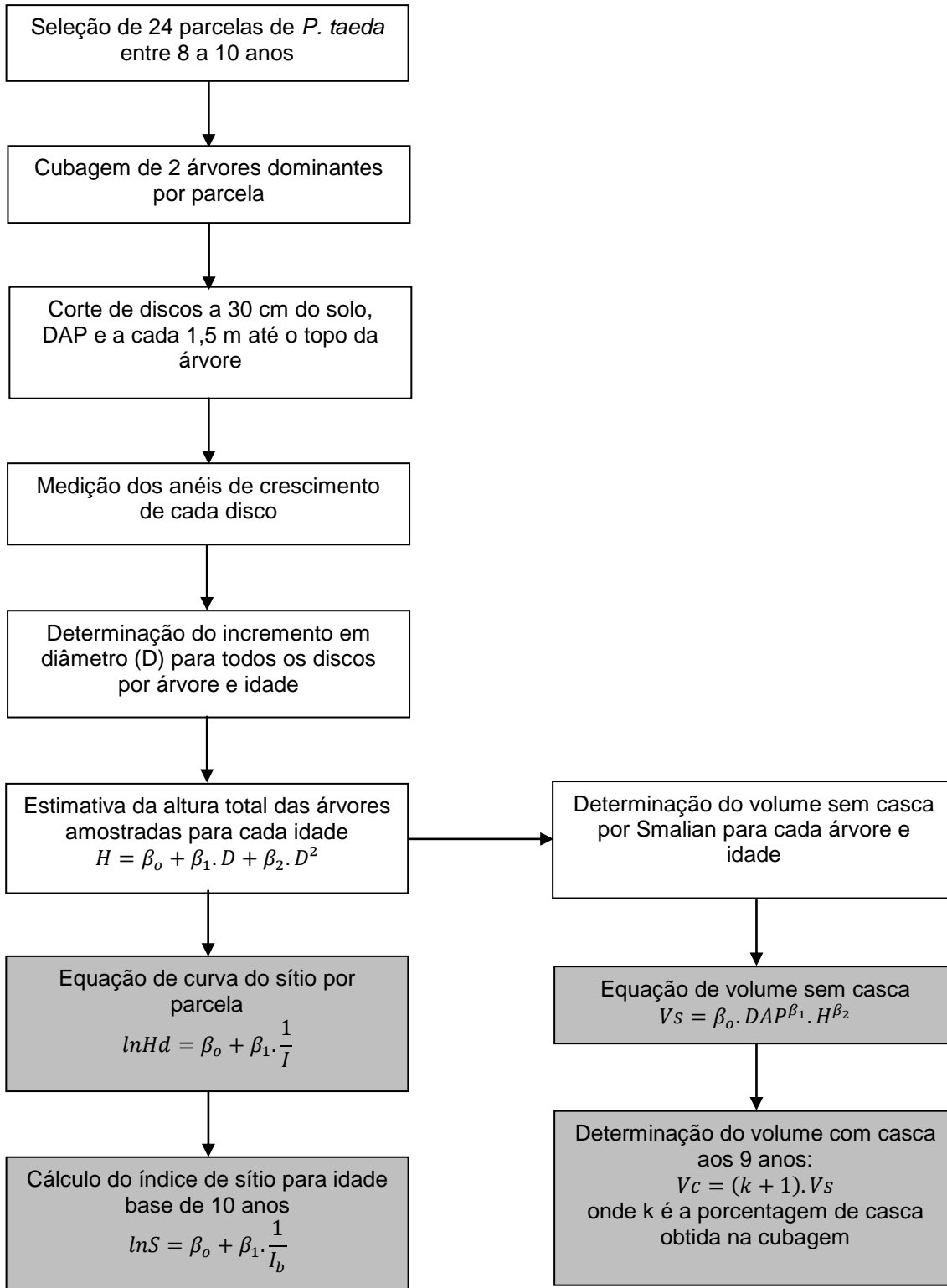


Figura 3 – Diagrama detalhado das metodologias utilizadas na análise de tronco – cubagem, estimativa da altura total das árvores cubadas, determinação das equações de volume sem casca (V_s) e com casca (V_c) e determinação das equações de curva do sítio e índice de sítio

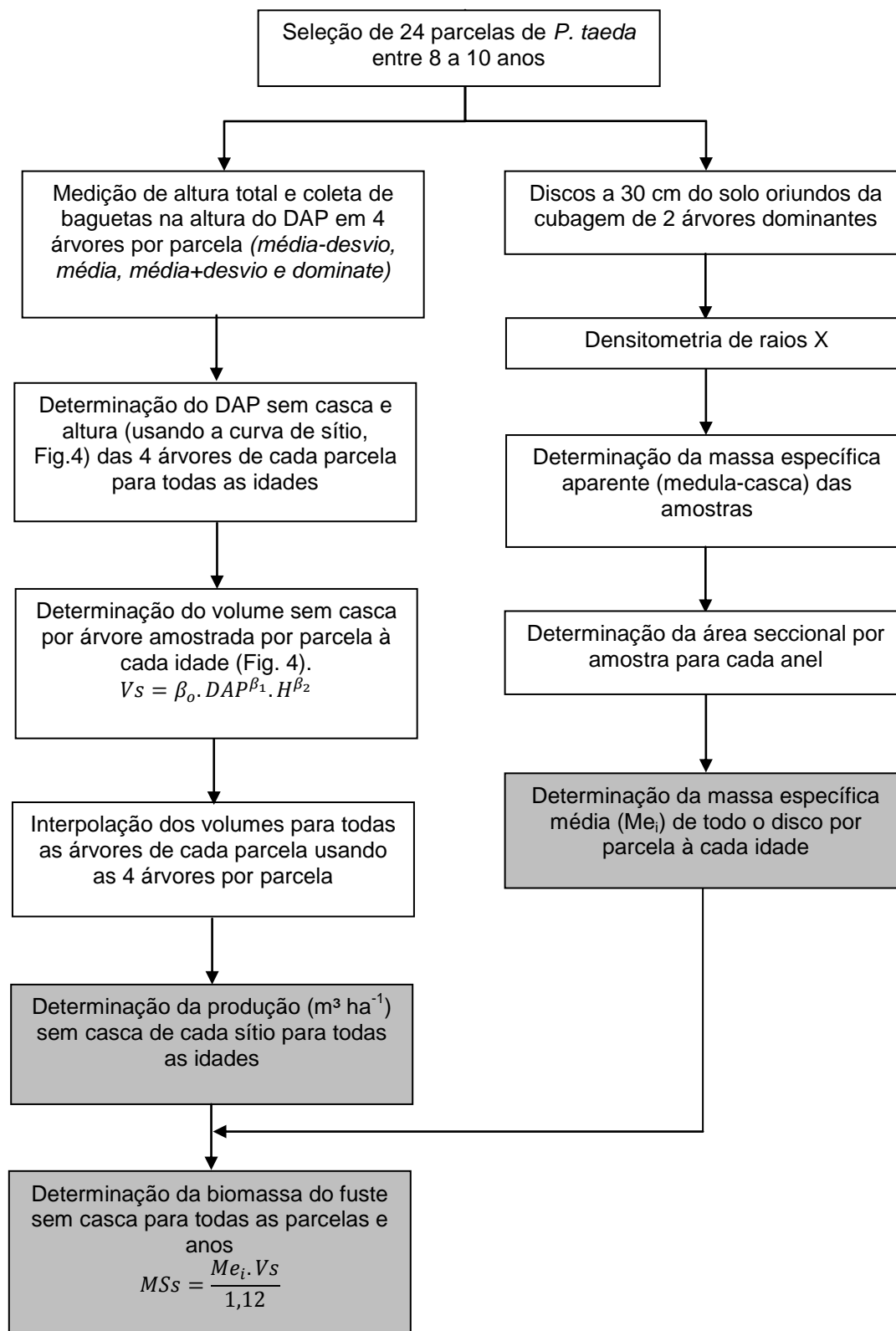


Figura 4 – Diagrama detalhado das metodologias utilizadas para a determinação da massa específica aparente (Me_i), do volume e biomassa do povoamento

3.4 Análise de tronco

3.4.1 Cubagem

Para cada uma das parcelas amostradas selecionaram-se 2 árvores dominantes em sua bordadura, com maior DAP, com exceção das 9 parcelas de Três Barras, totalizando 30 árvores. Estas árvores foram derrubadas em julho de 2009 e retiradas secções transversais com casca na base (30 cm acima do solo), no DAP e a cada 1,5 metros a partir do DAP (Figura 5), onde os respectivos diâmetros com casca e a largura da casca foram medidos no campo.



Figura 5 – Avaliação destrutiva do fuste. (A) Corte da árvore dominante selecionada na bordadura da parcela. (B) Cubagem rigorosa do fuste

Os discos da cubagem (desde a base até o topo da árvore) foram transportados para o Laboratório de Ecofisiologia Florestal e Silvicultura – LEFS, do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, onde foram secos em estufa a 65°C e polidos com

lixas de diferentes gramaturas (80, 150, 180, 360 e 400 grãos.polegadas⁻²) para o contraste dos anéis de crescimento.

Após o polimento e a demarcação dos anéis de cada disco, esses foram digitalizados com resolução de 600 dpi para posterior mensuração da largura dos anéis através do software Image Tool versão 3.0 (Figura 6).

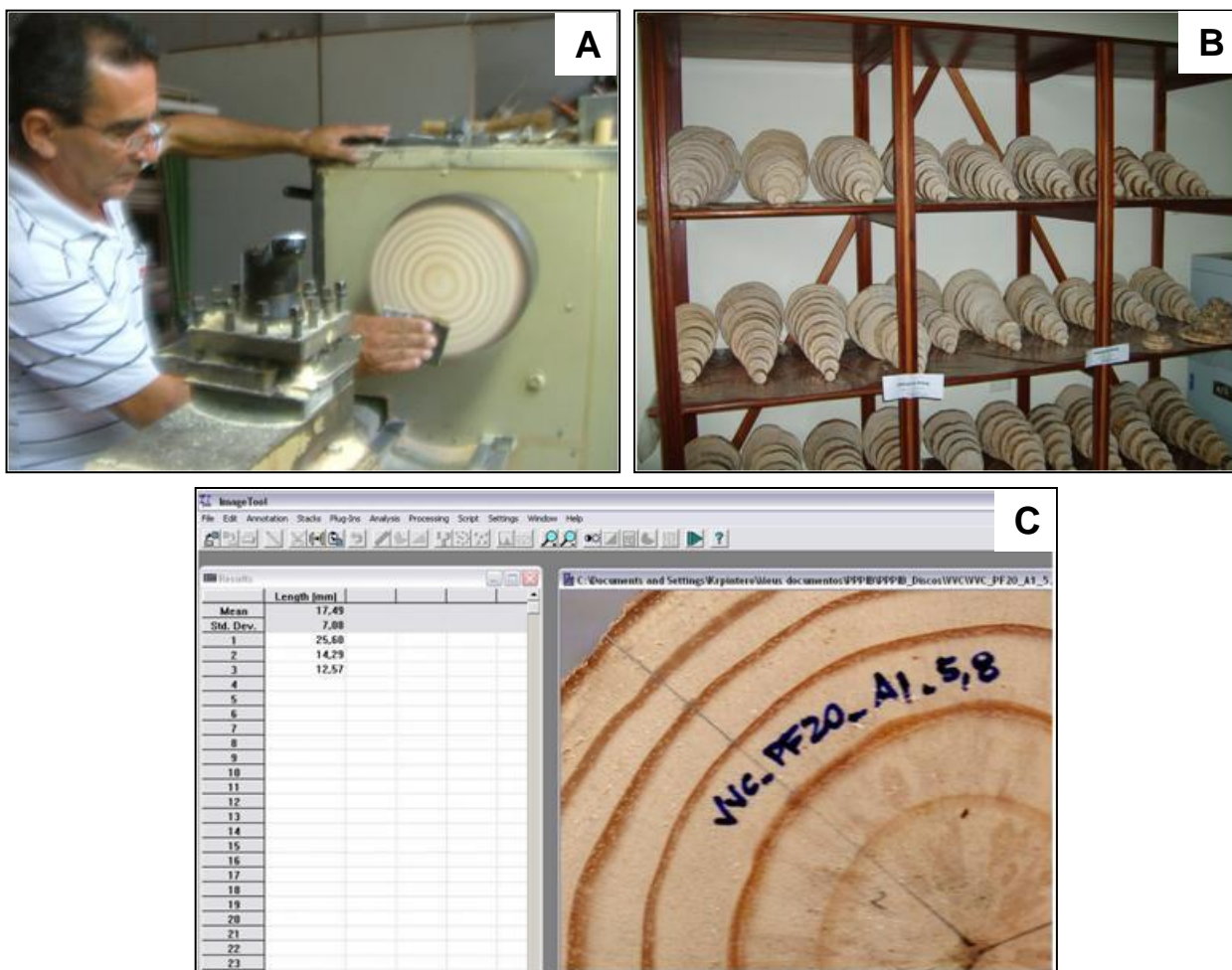


Figura 6 – Procedimentos realizados na análise de tronco: (A) polimento do disco, (B) amostras polidas e separadas por árvore e (C) mensuração da largura dos anéis no software Image Tool 3,0

3.4.1.1 Determinação da equação de volume

Com as mensurações de diâmetro dos discos para cada anel realizadas pela análise de tronco, foi possível calcular, pelo método de Smalian (CAMPOS; LEITE, 2006), o volume sem casca de todas as idades dos discos amostrados desde a base

até a o topo da árvore. Para obter a altura em cada idade, foi realizado curvas de crescimento, exemplificada na Figura 7, em altura por árvore para cada disco, através da eq. (2).

$$H_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot D + \beta_2 \cdot D^2 \quad (2)$$

Onde:

H_i = altura na idade i (m)

D = diâmetro sem casca (cm)

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$ = parâmetros

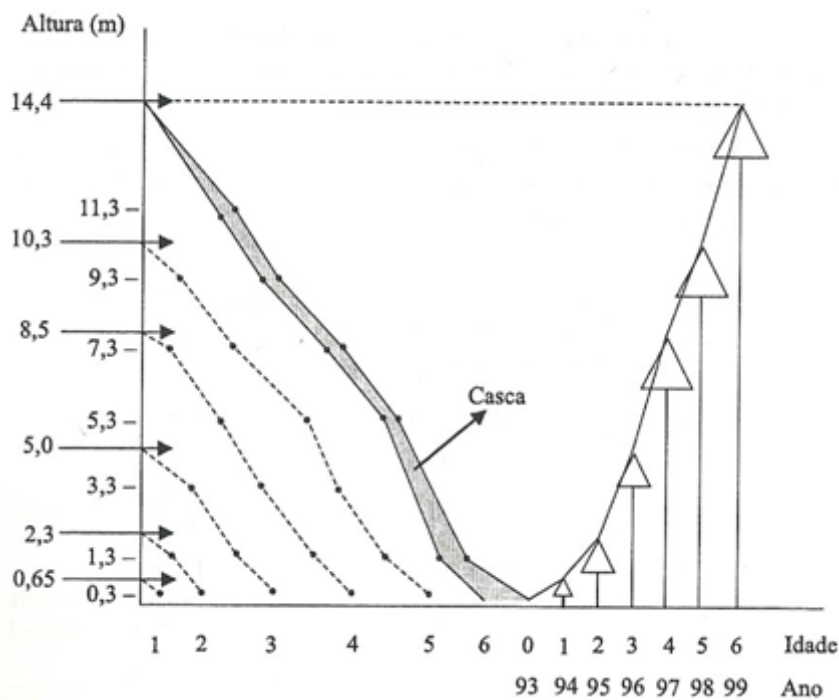


Figura 7 – Representação do crescimento em altura com dados de análise completa de tronco, onde cada linha pontilhada representa o crescimento que a árvore obteve em cada idade, as setas representam a altura atingida em cada idade e no eixo y a altura a qual os discos foram cortados (CAMPOS; LEITE, 2006)

Após a estimativa da altura de cada idade, foi possível calcular a equação de volume sem casca, a qual foi determinada com os volumes dos discos cortados na altura de 1,30 m (DAP) de todas as idades das árvores cubadas.

O método de Critério de informação de Akaike (AIC) do pacote R foi utilizado para comparar diversos modelos utilizados na literatura e selecionar o melhor modelo volumétrico sem casca. O modelo de Schumacher e Hall (CAMPOS; LEITE, 2006), representado pela eq. (3), foi o que melhor ajustou aos dados utilizados.

$$V_s = 0,0000384 \cdot DAP^{2,656} \cdot H^{0,201} \quad (3)$$

Onde:

V_s = Volume do tronco sem casca (m^3)

DAP = Diâmetro à altura do peito sem casca (cm)

H = Altura (m)

Com as mensurações do diâmetro com casca das secções transversais cortadas no campo, desde a base até o topo da árvore (ilustrado na Figura 5), foi possível calcular o volume com casca pelo método de Smalian (CAMPOS; LEITE, 2006) e o volume da casca para cada árvore amostrada através da diferença entre o volume com casca e sem casca.

Para a casca, foi calculado sua percentagem volumétrica para cada parcela através do volume da casca e do volume do fuste sem casca das árvores derrubadas (eq. 4).

$$k = \frac{V_{casca}}{V_s} \quad (4)$$

Onde:

k = Porcentagem de casca

V_{casca} = Volume da casca (m^3)

V_s = Volume do tronco sem casca (m^3)

Assim, com o intuito de comparar a produtividade com casca de todas as parcelas em uma mesma idade, calculou-se o volume com casca aos 9 anos de idade para todas as árvores das parcelas na idade de 9 anos através da eq. (5).

$$V_{C_9} = V_s \cdot (1 + k) \quad (5)$$

Onde:

V_{C_9} = Volume do tronco com casca aos 9 anos (m^3)

V_s = Volume do tronco sem casca (m^3)

k = porcentagem de casca

3.4.1.2 Índice de sítio: curvas de sítio

Para a obtenção das equações de curvas de cada sítio, utilizaram-se os discos da cubagem (a partir de 30 cm do solo até o topo da árvore) para determinar o número de anéis por disco (idade) e o crescimento em cada idade para diferentes alturas da árvore (disco). A partir da estimativa da altura total (eq. 2) para todas as idades das árvores cubadas de cada parcela, foi possível desenvolver uma curva de sítio para cada parcela (eq. 6) e calcular o índice de sítio para cada parcela convencionando-se uma idade base de 10 anos.

$$\ln(HD_i) = \beta_0 + \frac{\beta_1}{I} \quad (6)$$

Onde:

Hd = Altura dominante da i -ésima árvore (m)

I = Idade (meses)

β_0, β_1 = parâmetros

As curvas de sítio das parcelas de Três Barras foram determinadas a partir dos dados de altura de quatro árvores dominantes (maior DAP) de cada parcela dos inventários de 2006 a 2010, juntamente com os dados de altura dominante da parcela mais semelhante às alturas das parcelas de Três Barras. Onde a partir destes dados

foi possível determinar uma curva de sítio para as nove parcelas da região de Três Barras.

Portanto, através da relação hipsométrica e da curva de cada sítio, foi possível calcular a altura de qualquer árvore, em qualquer idade, com base em seu DAP.

3.5 Densitometria de raios X

Devido à grande variabilidade da massa específica do *Pinus* ao longo dos anos no lenho juvenil, houve a necessidade de determinar sua massa específica separadamente para cada idade. Assim, utilizou-se a técnica de densitometria de raios X, a qual é possível determinar a massa específica aparente a 12 % de umidade de cada anel, com a finalidade de calcular a massa seca para cada idade da árvore.

As amostras radiais do lenho foram retiradas (de casca a casca - passando pela medula) dos discos a 30 cm de altura do solo coletados no campo para a cubagem – 2 discos por parcela. O material foi colado em suporte e cortado no sentido transversal (2,0 mm de espessura), em aparelho de dupla serra circular paralela (Figura 8). Após seccionadas no sentido radial, as amostras foram acondicionadas em câmara de aclimação (20°C, 50% UR) até atingirem 12% de umidade.

Utilizou-se o aparelho Quintek Tree Ring Analyser System modelo 01X (QTRS – 01X) da empresa Quintek Measurements Systems (QMS) para analisar os anéis com raios X. O aparelho faz a leitura da madeira no sentido radial a cada 0,02 mm do comprimento da amostra, gerando um perfil densitométrico de cada amostra pelo software do equipamento baseado na relação com a atenuação dos raios X, sendo visualizado em tempo real no monitor (Figura 8) (QUINTEK MEANSUREMENTS SYSTEMS - QMS, 1999).

A partir das leituras das amostras, foi calculado a massa específica aparente (M_e) através da média ponderada da área circular de cada anel por amostra e posteriormente por parcela.

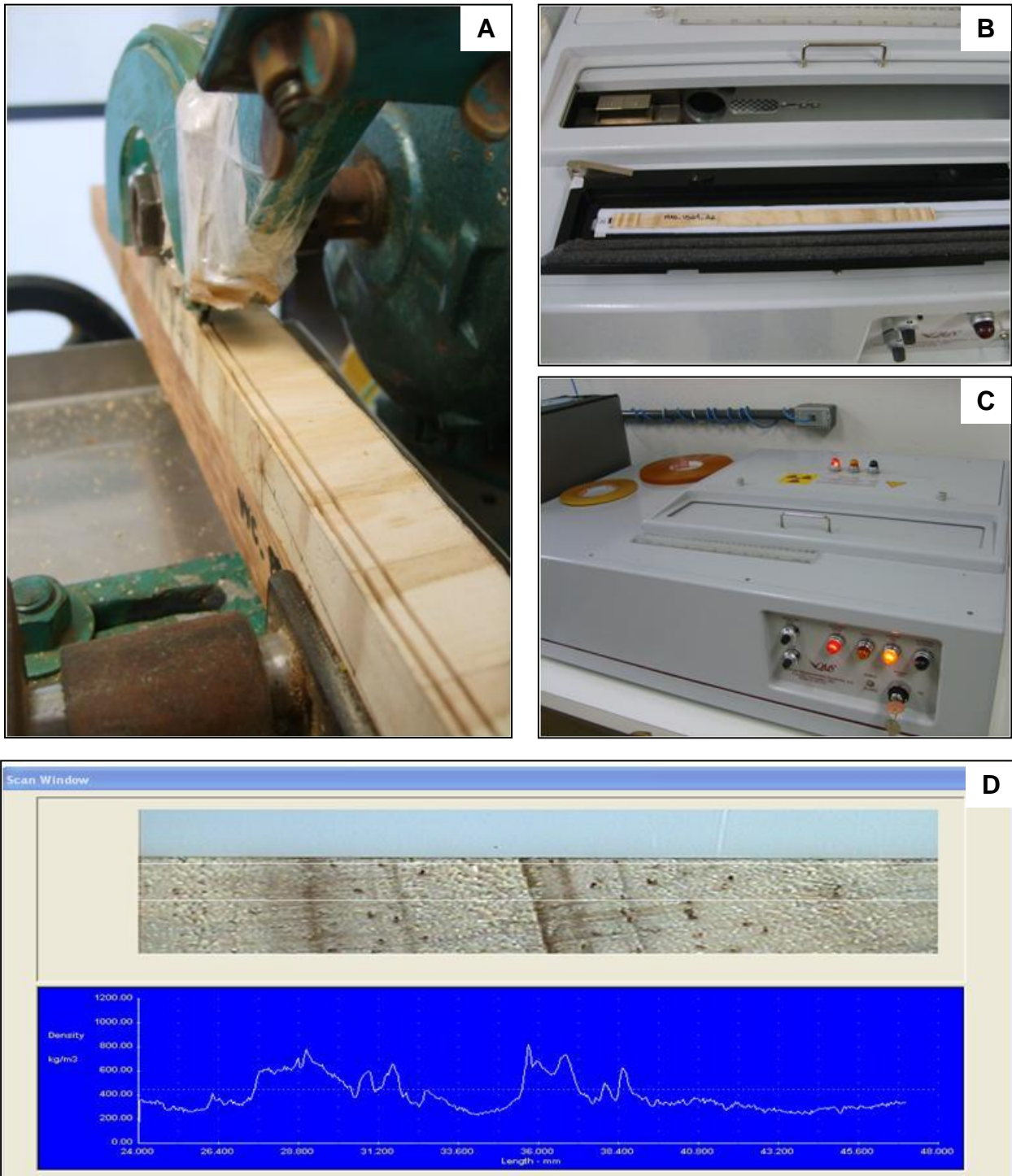


Figura 8 - (A) Preparo da amostra - corte radial de 2 mm de espessura na dupla serra circular paralela. (B) Amostra de *Pinus taeda* posicionada no suporte do Quintek Tree Ring Analyser System. (C) Aparelho Quintek Tree Ring Analyser System modelo 01X em funcionamento. (D) Densidade aparente visualizada em tempo real pelo software durante a radiação da amostra

3.6 Determinação do volume, biomassa, equações de produção e uniformidade

Para determinar as produtividades anuais dos anos anteriores do inventário (2006 ou 2007) em volume ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), desde os plantios até as idades atuais, selecionaram-se 4 árvores para cada parcela de acordo com a variabilidade dos DAPs do último inventário (DAP médio menos o desvio padrão, DAP médio, DAP médio mais o desvio padrão e árvore dominante).

A coleta não destrutiva de amostras para identificação e caracterização dos anéis de crescimento foi realizada em 2009 com o auxílio da sonda de Pressler, retirando-se 2 amostras cilíndricas (5 mm de diâmetro), no sentido radial e na altura do DAP de cada árvore até atingir a região da medula, totalizando 192 amostras. Mediu-se a altura de cada árvore amostrada utilizando o clinômetro eletrônico Haglof.

As amostras retiradas foram fixadas em suporte de madeira e polidas com lixas de diferentes gramaturas (180, 360, 400 e 600 grãos polegadas⁻²), para que os limites dos anéis de crescimento fossem evidenciados e marcados (Figura 9). Após esta demarcação, as imagens das amostras foram digitalizadas na resolução de 600 dpi para medir a largura dos anéis de crescimento, no sentido medula-casca, utilizando o software Image Tool versão 3.0.



Figura 9 – Amostragem não destrutiva do lenho de *Pinus taeda* com sonda de Pressler. (A) Inserção da sonda em orientação perpendicular ao eixo da árvore. (B) Extração da amostra do lenho com auxílio de espátula. (C) Amostras coladas em suporte e fixadas em prancha de madeira para o polimento. (D) Amostras polidas e escaneadas para mensuração da largura dos anéis

Através da medição da largura dos anéis, determinou-se o DAP sem casca de cada idade e com a equação de curva de sítio estimou-se a altura. Com DAP e altura, calculou-se o volume sem casca de todas as idades pela equação volumétrica gerada anteriormente (eq. 3). Para as árvores não amostradas da parcela, o crescimento em volume sem casca foi interpolado com base nos incrementos em volume de cada ano das 4 árvores medidas.

O estoque anual em volume, foi calculado pela soma do volume sem casca de todas as árvores por parcela e idade, expandindo-se para hectare, sendo que a diferença entre esse estoque é o incremento corrente anual (ICA) de cada ano.

Após determinar o volume do povoamento e da massa específica aparente média (12% de umidade) de cada parcela e idade, foi possível calcular a produção anual do fuste em biomassa sem casca ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) para todas as árvores e ano (eq. 7).

$$MS_i = \frac{Me_i \cdot Vs_i}{1,12} \quad (7)$$

Onde:

MS_i = Massa seca da idade i (kg)

Me_i = Massa específica aparente média a 12% de umidade da idade i (kg m^{-3})

Vs_i = Volume do fuste sem casca na idade i (m^3)

Com base nos estoques de volumes e biomassas, nas diversas idades, estimaram-se os respectivos IMAs e ICAs, e elaboraram-se equações de produção de cada parcela.

Para avaliar a uniformidade do povoamento de cada parcela, utilizou-se um índice de porcentagem de biomassa de 50 % das árvores menores, denominado de PB50 (STAPE et al. 2006) (eq. 8). Quanto maior o PB50, mais uniforme será a parcela

$$PB50 = \frac{\sum MS_{ij50}}{\sum MS_{ijt}} \quad (8)$$

Onde:

MS_{ij50} = Massa seca de 50% das árvores menores na idade i da parcela j

MS_{ijt} = Massa seca total na idade i da parcela j

3.7 Densidade básica: madeira e casca

Nas mesmas árvores cubadas, foram retiradas discos com casca no DAP e a 25%, 50% e 75% da altura total para determinar a densidade básica da madeira (DB) e da casca (DBc) pelo método da balança hidrostática. Os discos com casca foram saturados em água, e após a saturação, as amostras sem casca foram cortadas em duas cunhas (livres de nós) de lados opostos e com ângulo de aproximadamente 45° cada.

Para cada cunha e amostra de casca foi obtido o peso imerso em água (Pi) e peso saturado (Psat), como também o peso seco (Ps) após secagem em estufa a 104°C até massa constante. Para o cálculo da densidade básica da madeira (DB) e da casca (DBc) foi utilizada a eq. (9) e a eq. (10), respectivamente, sendo que para obter a densidade básica (g cm^{-3}) de cada disco calculou-se a média aritmética simples entre as cunhas.

$$DB = \frac{\rho \cdot Ps}{Psat - Pi} \quad (8)$$

$$DBc = \frac{\rho \cdot Ps}{Psat - Pi + e} \quad (10)$$

Onde:

DB = densidade básica da madeira (g cm^{-3})

DBc = densidade básica da casca (g cm^{-3})

Ps = peso seco da amostra (g)

Psat = peso saturado da amostra (g)

Pi = peso imerso da amostra (g)

ρ = densidade da água (g cm^{-3})

e = peso do empuxo (g)

A densidade básica da casca foi utilizada para determinar a massa seca de casca por sítio aos 9 anos de idade, e a densidade básica da madeira serviu para validar os valores da massa específica aparente média através do raios X.

3.8 Variáveis Climatológicas

Os dados mensais de temperatura média, máxima e mínima e precipitação foram obtidos desde o plantio até a idade estudada através das estações meteorológicas mais próximas aos experimentos.

Para avaliar a influência da disponibilidade de água, estimou-se o balanço hídrico anual pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), com base em Rolim, Sentelhas e Barbieri (1998) e a evapotranspiração potencial (ETP) pelo método de Thornthwaite (1948).

O valor da capacidade de água disponível no solo (CAD) da área experimental foi determinado com base nos dados da Reunião de Classificação, Correlação de Solos e Interpretação de Aptidão Agrícola (1988) como mostra a Tabela 3.

Tabela 3 – Valores de CAD (capacidade de água disponível no solo) até 200 cm de profundidade do solo em relação ao teor de argila (%)

Argila (%)	CAD (mm)
< 15	100
15 a 35	150
> 35	200

3.10 Variáveis Edáficas

Coletaram-se amostras compostas de solos no ano de 2007, as quais foram retiradas com o auxílio de um trado na linha e entre-linha das parcelas na profundidade de 0 a 20 cm e levadas para análise química - nutrientes solúveis, porcentagem de matéria orgânica, pH e Al^{3+} ; e física – teores de argila, silte e areia. Todas as amostras foram analisadas no laboratório do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP.

A profundidade do solo foi determinada em 2009, utilizando um trado com comprimento de 140 cm, onde foi amostrado um ponto no centro de cada parcela, realizando a tradagem até atingir a camada de rocha do solo ou até a profundidade máxima do trado (140 cm).

Baseado nas análises de solos de cada parcela, determinaram-se para P, K, Ca e Mg, os totais de nutrientes disponíveis, por hectare, considerando a profundidade do solo. Para a determinação da quantidade de N disponível, utilizou-se o teor de matéria orgânica do solo, considerando 58% de carbono (C) na matéria orgânica, uma relação C:N de 10:1, e considerando como disponíveis às plantas somente 10% do nitrogênio total,, sendo que as demais quantidades fazem parte de frações húmicas estáveis (GONÇALVES; MENDES; SASAKI, 2001).

3.11 Análise Estatística

O pacote R foi utilizado para obter as equações hipsométricas, o modelo volumétrico sem casca, e as equações de produção. O coeficiente de Pearson foi utilizado para avaliar as correlações existentes do incremento médio anual com casca aos 9 anos de idade (IMAc) e índice de sítio (IS) com as variáveis climáticas, edáficas e de povoamento, gerando as equações de regressão. Para comparar as médias das regiões (Três Barras x Jaguariaíva, Ponta Grossa e Rio Negrinho), utilizou-se teste t de comparação de médias.

Todas as comparações foram feitas com o nível de significância de 5%. A análise de resíduo foi verificada pela normalidade e homocedasticidade. As análises estatísticas foram realizadas com o programa SAS versão 9.1 (Statistical Analysis System).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características edáficas

Na Tabela 4, estão apresentadas as características físicas do solo, a saber profundidade, classe textural, drenagem e relevo, além do grupo e formação geológica das parcelas estudadas. Para detalhamento das características do solo a nível de parcela, podemos observar na Tabela 5 a fertilidade e outras características físicas, como capacidade de armazenamento de água no solo (CAD), teor de argila e areia.

Tabela 4 – Profundidade do solo, classe textural, nível de drenagem, classe de relevo, grupo e formação geológica de cada parcela para JGR – Jaguariaíva, PTG – Ponta Grossa. TRB – Três Barras e RNG – Rio Negrinho

Região	Parcela	Prof. solo	Classe	Drenagem	Relevo	Grupo/Formação
-	#	cm	Textural	-	-	-
JGR	2	140	média-arenosa	boa	ondulado	Grupo Paraná - Formação Furnas
JGR	4	140	média-argilosa	boa	ondulado	Grupo Paraná - Formação Furnas
JGR	6	140	argilosa	boa	ondulado	Suítes Graníticas
JGR	10	140	média-argilosa	boa	ondulado	Grupo Paraná - Formação Furnas
JGR	14	140	argilosa	boa	ondulado	Suítes Graníticas
JGR	15	140	argilosa	boa	ondulado	Suítes Graníticas
PTG	1	140	argilosa	boa	suave ondulado	Grupo Paraná - Formação Furnas
PTG	3	140	argilosa	boa	suave ondulado	Grupo Paraná - Formação Furnas
PTG	7	140	argilosa	boa	suave ondulado	Grupo Paraná - Formação Furnas
PTG	12	140	muito argilosa	moderada	suave ondulado	Grupo Paraná - Formação Furnas
RNG	5	30	argilosa	boa	ondulado	Grupo Itararé - Formação Mafra e Rio do Sul
RNG	8	140	média-argilosa	boa	ondulado	Grupo Itararé - Formação Mafra e Rio do Sul
RNG	9	100	argilosa	boa	ondulado	Grupo Itararé - Formação Mafra e Rio do Sul
RNG	11	140	média-arenosa	boa	ondulado	Grupo Itararé - Formação Mafra e Rio do Sul
RNG	13	140	média-argilosa	boa	ondulado	Grupo Itararé - Formação Mafra e Rio do Sul
TRB	16	140	muito argilosa	moderada	suave ondulado	Grupo Tubarão
TRB	17	140	muito argilosa	moderada	suave ondulado	Grupo Tubarão
TRB	18	140	muito argilosa	moderada	suave ondulado	Grupo Tubarão
TRB	19	140	muito argilosa	moderada	suave ondulado	Grupo Tubarão
TRB	20	140	argilosa	boa	suave ondulado	Grupo Tubarão
TRB	21	140	argilosa	boa	suave ondulado	Grupo Tubarão
TRB	22	140	argilosa	boa	suave ondulado	Grupo Tubarão
TRB	23	140	argilosa	boa	suave ondulado	Grupo Tubarão
TRB	24	140	argilosa	boa	suave ondulado	Grupo Tubarão

Tabela 5 – Características de físicas e químicas dos solos das 24 parcelas estudadas ordenadas por região, para JGR – Jaguariaíva, PTG – Ponta Grossa. TRB – Três Barras e RNG – Rio Negrinho

Região	Parcela	MO ¹ g dm ⁻³	P mg dm ⁻³	mmolc dm ⁻³					SB ²	CTC ³	CAD ⁴ mm	Argila	Areia
				K	Ca	Mg	Al	H				%	%
JGR	2	52,0	3,0	0,6	1,0	1,0	0,0	121,0	2,6	123,6	105	20	76
JGR	4	35,0	3,0	0,3	1,0	1,0	0,0	98,0	2,3	100,3	105	28	68
JGR	6	43,0	2,0	0,3	1,0	1,0	0,0	121,0	2,3	123,3	140	52	44
JGR	10	33,0	2,0	0,4	3,0	1,0	0,0	98,0	4,4	102,4	105	31	63
JGR	14	49,0	6,0	0,8	5,0	2,0	0,0	121,0	7,8	128,8	140	47	49
JGR	15	36,0	4,0	0,6	6,0	1,0	0,0	98,0	7,6	105,6	140	39	57
PTG	1	23,0	1,0	0,8	2,0	1,0	0,0	121,0	3,8	124,8	140	50	32
PTG	3	33,0	1,0	0,8	1,0	1,0	0,0	121,0	2,8	123,8	140	50	32
PTG	7	28,0	4,0	1,5	7,0	3,0	0,0	166,0	11,5	177,5	140	51	18
PTG	12	34,0	1,0	1,7	2,0	1,0	0,0	150,0	4,7	154,7	140	78	7
RNG	5	29,0	3,0	1,0	1,0	1,0	0,0	166,0	3,0	169,0	30	37	42
RNG	8	37,0	3,0	0,3	1,0	1,0	0,0	166,0	2,3	168,3	105	25	69
RNG	9	49,0	4,0	1,3	1,0	1,0	0,0	281,0	3,3	284,3	100	56	14
RNG	11	28,0	5,0	0,4	1,0	1,0	0,0	121,0	2,4	123,4	105	22	72
RNG	13	33,0	4,0	0,4	1,0	1,0	0,0	135,0	2,4	137,4	105	28	68
TRB	16	59,0	3,0	2,0	5,0	2,0	0,0	253,0	9,0	262,0	140	80	5
TRB	17	59,0	3,0	1,1	3,0	2,0	0,0	253,0	6,1	259,1	140	85	3
TRB	18	65,0	4,0	1,9	10,0	4,0	0,0	281,0	15,9	296,9	140	80	6
TRB	19	60,0	3,0	1,3	6,0	2,0	0,0	228,0	9,3	237,3	140	81	4
TRB	20	45,0	3,0	0,4	1,0	1,0	0,0	135,0	2,4	137,4	140	43	46
TRB	21	51,0	3,0	0,5	1,0	1,0	0,0	135,0	2,5	137,5	140	49	38
TRB	22	49,0	4,0	0,5	1,0	1,0	0,0	150,0	2,5	152,5	140	48	40
TRB	23	49,0	3,0	0,5	2,0	1,0	0,0	166,0	3,5	169,5	140	56	30
TRB	24	46,0	3,0	0,5	2,0	1,0	0,0	150,0	3,5	153,5	140	54	36

(1) MO = matéria orgânica no solo; (2) SB = soma de bases; (3) CTC = capacidade de troca catiônica; (4) CAD = capacidade de armazenamento de água no solo

Em termos de profundidade do solo, a região de Rio Negrinho destaca-se das demais por possuir solos pouco profundos em algumas parcelas, sendo que a parcela 5 possui o solo mais raso encontrado (30 cm de profundidade) dentre as 24 parcelas (Tabela 4). Também podemos observar que a região de Jaguariaíva possui maior variabilidade em relação à classe textural e formação geológica.

Relacionados à profundidade e textura do solo, a Tabela 5 nos mostra que a região de Rio Negrinho possui as parcelas com menor capacidade de armazenamento de água no solo comparado com os demais sítios, variando de 30 a 105 mm de água.

A restrição à drenagem de água pode ocorrer principalmente na região de Três Barras, onde praticamente metade da área estudada possui solos de textura muito-argilosa, alcançando valores de até 80% de argila (Tabela 5). Inversamente, Jaguariaíva e Rio Negrinho possuem as áreas mais arenosas do estudo, com até 78% de areia (Tabela 5), caracterizando-se assim, como solos com boa drenagem de água.

A quantidade média de matéria orgânica no solo variou de 23 (Ponta Grossa) a 65 g dm⁻³ (Três Barras), valores elevados para os padrões de solos brasileiros e que refletem elevados teores de N.

Com base nas análises de fertilidade da Tabela 5, determinaram-se os totais de nutrientes disponíveis no solo em kg ha⁻¹ para N, P, K, Ca e Mg descritos na Tabela 6.

Tabela 6 – Total de nutrientes disponíveis nos solos das 24 parcelas estudadas, ordenadas por região. JGR – Jaguariaíva, PTG – Ponta Grossa. TRB – Três Barras e RNG – Rio Negrinho

Região	Parcela	N	P	K	Ca	Mg
-	#	kg ha ⁻¹				
JGR	2	4222	42	328	280	161
JGR	4	2680	14	437	280	161
JGR	6	2274	56	819	1960	483
JGR	10	2761	14	928	560	161
JGR	14	4872	42	710	1680	322
JGR	15	3979	56	273	280	161
PTG	1	1868	14	437	560	161
PTG	3	3492	28	164	280	161
PTG	7	2274	70	218	280	161
PTG	12	4791	42	1092	1400	322
RNG	5	505	9	117	60	35
RNG	8	2842	42	164	280	161
RNG	9	3004	42	164	280	161
RNG	11	3979	84	437	1400	322
RNG	13	4791	42	601	840	322
TRB	16	2842	40	507	200	115
TRB	17	2680	28	218	840	161
TRB	18	2680	56	218	280	161
TRB	19	2923	56	328	1680	161
TRB	20	5278	56	1037	2800	644
TRB	21	3654	42	218	280	161
TRB	22	4141	42	273	280	161
TRB	23	3979	42	273	560	161
TRB	24	3735	42	273	560	161

As quantidades médias de N, P, K, Ca e Mg foram aproximadamente 3340, 40, 430, 750 e 210 kg ha⁻¹, respectivamente. Exceto o N, estes valores podem ser considerados baixos para os padrões de silvicultura de espécies de rápido crescimento como o *Eucalyptus*. Porém, podemos verificar na Tabela 6 que a quantidade destes nutrientes no solo para cada região é muito variável, destacando-se novamente a parcela 5 de Rio Negrinho, onde possui os menores teores de todos os nutrientes, devido principalmente a sua profundidade do solo de apenas 30 cm.

Diferentemente, a parcela 20, localizada em Três Barras, é a parcela com maiores quantidades de nutrientes disponíveis no solo, principalmente para o N, K, Ca e Mg, onde seus valores foram de 60, 140, 280 e 200% maiores em relação à quantidade média das 24 as parcelas estudadas.

4.2 Clima

Os valores de precipitação pluviométrica, temperatura máxima e mínima média mensal, desde o ano de plantio até o ano de estudo (2009), estão representados pelas Figuras 10 a 13. Tais dados foram obtidos através das estações meteorológicas do Sistema Meteorológico do Paraná – SIMEPAR (Ponta Grossa e Jaguariaíva), do Centro de Informações de Recursos Ambientais e Hidrometeorologia de Santa Catarina – CIRAM (Rio Negrinho) e da empresa RIGESA (Três Barras).

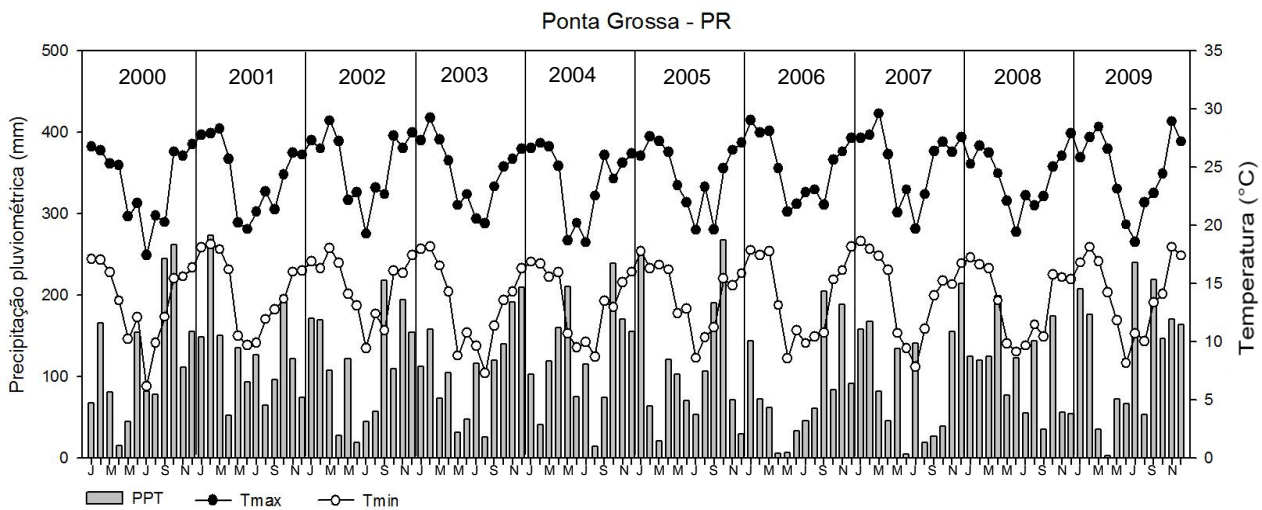


Figura 10 - Precipitação pluviométrica mensal (PPT), temperatura máxima mensal (Tmax) e temperatura mínima mensal da estação meteorológica do SIMEPAR, em Ponta Grossa – PR, de janeiro de 2000 até dezembro de 2009.

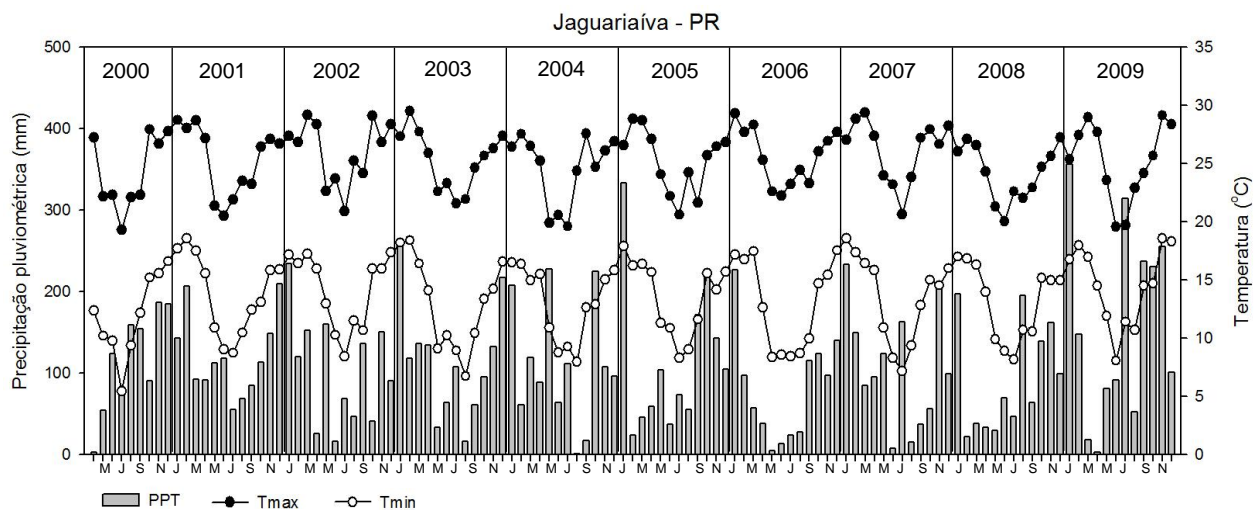


Figura 11 - Precipitação pluviométrica mensal (PPT), temperatura máxima mensal (Tmax) e temperatura mínima mensal da estação meteorológica do SIMEPAR, em Jaguariaíva – PR, de abril de 2000 até dezembro de 2009.

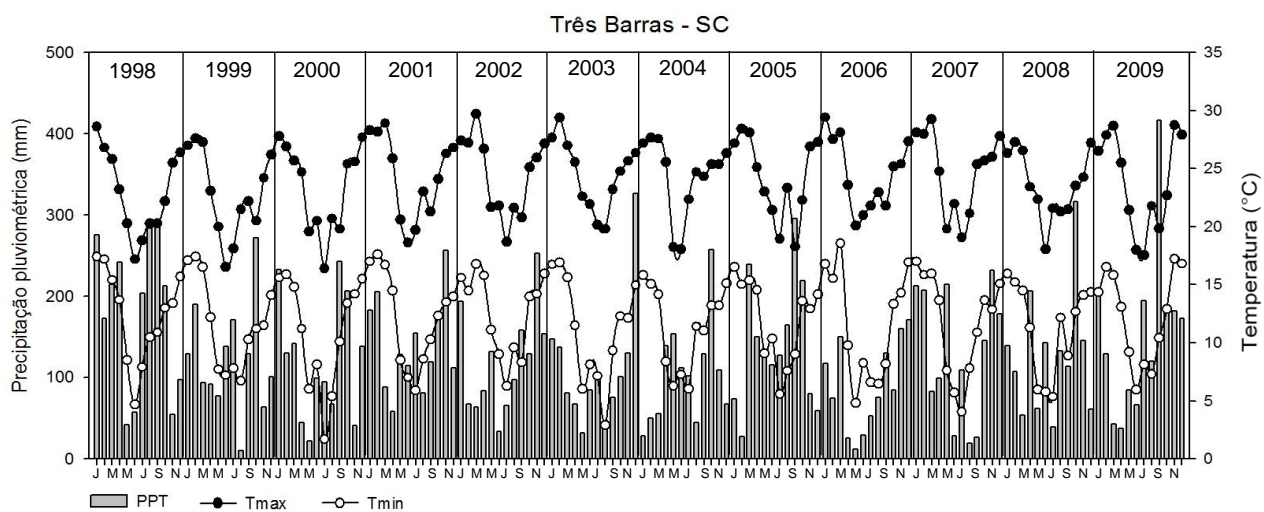


Figura 12 – Precipitação pluviométrica mensal (PPT), temperatura máxima mensal (Tmax) e temperatura mínima mensal da estação meteorológica da RIGESA, em Três Barras – SC, de janeiro de 1998 até dezembro de 2009

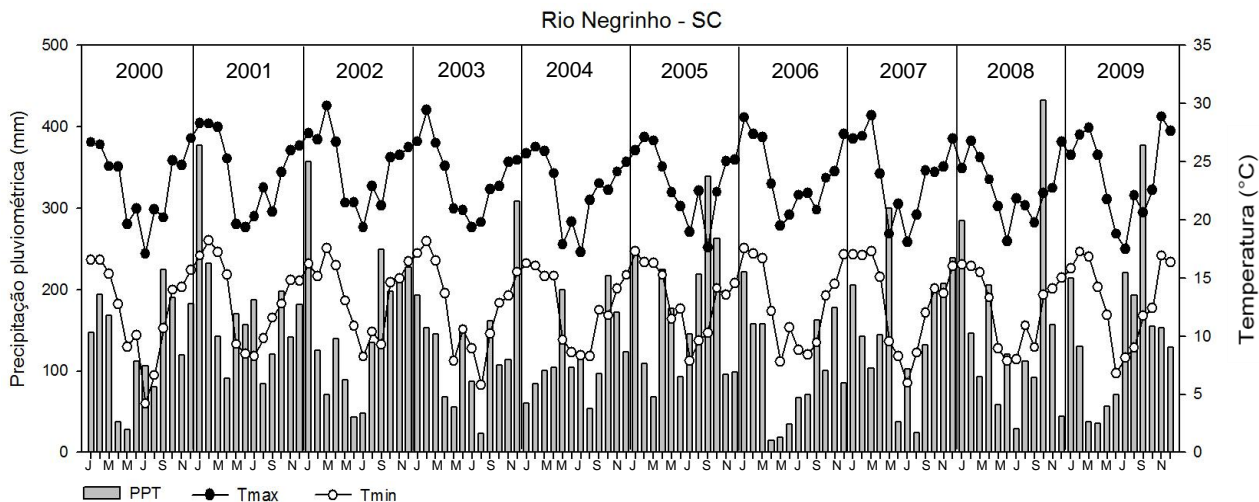


Figura 13 - Precipitação pluviométrica mensal (PPT), temperatura máxima mensal (Tmax) e temperatura mínima mensal da estação meteorológica do CIRAM, em Rio Negrinho – SC, de janeiro de 2000 até dezembro de 2009

Através dos dados climáticos podemos observar, para os quatro locais, a presença de um período chuvoso de setembro a fevereiro e um período mais seco entre os meses de março a agosto. O período chuvoso, representado pelos meses de primavera e verão, varia aproximadamente de 61 a 67% da precipitação total anual média dos anos para todos os locais estudados. Entretanto, para as duas cidades em Santa Catarina a intensidade de chuvas ao longo do ano é maior quando comparado com as cidades no Paraná, sendo que a precipitação pluviométrica anual média em Rio Negrinho – SC, Três Barras – SC, Ponta Grossa – PR e Jaguaíva - PR é de respectivamente 1745, 1485, 1348, 1331mm.

É importante ressaltar que no ano de 2006, houve uma redução média de aproximadamente 30% da precipitação pluviométrica para todos os locais, em relação aos demais anos estudados, como podemos verificar nas Figuras de 10 a 13.

As médias históricas para precipitação, temperaturas máxima, média e mínima desde o plantio até 2009 estão representadas na Tabela 7 para cada região.

Tabela 7 – Caracterização climática das quatro regiões estudadas, com precipitação média anual (PPT), temperaturas máxima (Tmax), média (Tmed) e mínima (Tmin) médias anuais para Ponta Grossa, Jaguariaíva, Rio Negrinho e Três Barras. Os dados climáticos são de 2000 a 2009 e para Três Barras os dados são de 1998 a 2009

Região	PPT (mm)	Tmax	Tmed	Tmin
		° C		
Ponta Grossa	1359	24,6	18,5	13,9
Jaguariaíva	1301	25,2	18,4	13,4
Rio Negrinho	1729	23,6	16,9	12,8
Três Barras	1537	24,0	17,9	11,8

No período mais quente, o qual abrange os meses de outubro a abril, as temperaturas máxima e mínima médias, desde o plantio até 2009, foram de aproximadamente 26,4 e 15,5 °C, enquanto que nos meses mais frios, de maio a setembro, as temperaturas máxima e mínima médias foram de 21,3 e 9,4°C, respectivamente, valores estes dentro do escopo de temperatura ótima ao *P.taeda* segundo SCHULTZ (1997).

Foi realizado o balanço hídrico pelo método de Thornthwaite e Mather (1955) para todos os anos de crescimento da floresta (JGR, PTG e RNG – de 2000 a 2009; TRB – de 1998 a 2009) de acordo com a capacidade de armazenamento de água (CAD) de cada parcela, onde as médias históricas da evapotranspiração potencial (ETP), evapotranspiração real (ETR), déficit (DEF) e excedente hídrico (EXC) estão representadas na Tabela 8.

Tabela 8 – Evapotranspiração potencial (ETP), evapotranspiração real (ETR), déficit (DEF) e excedente (EXC) hídrico para cada região calculado pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), baseado na capacidade de água disponível no solo.

Região	ETP	ETR	DEF	EXC
-	mm			
PTG	853	826	27	534
JGR	838	798	40	503
RNG	790	778	12	951
TRB	839	818	21	719

Tanto a evapotranspiração potencial quanto a real não tiveram ampla variação entre as regiões e CAD, porém o déficit hídrico foi maior para Ponta Grossa e Jaguariaíva, enquanto que o excedente para as duas regiões de Santa Catarina (RNG e TRB) foram maiores em comparação às regiões do Paraná, evidenciando menores estresses hídricos.

Através das Figuras 14 e 15 podemos visualizar o balanço hídrico histórico dos locais com menor e maior déficit hídrico (Rio Negrinho e Jaguariaíva, respectivamente).

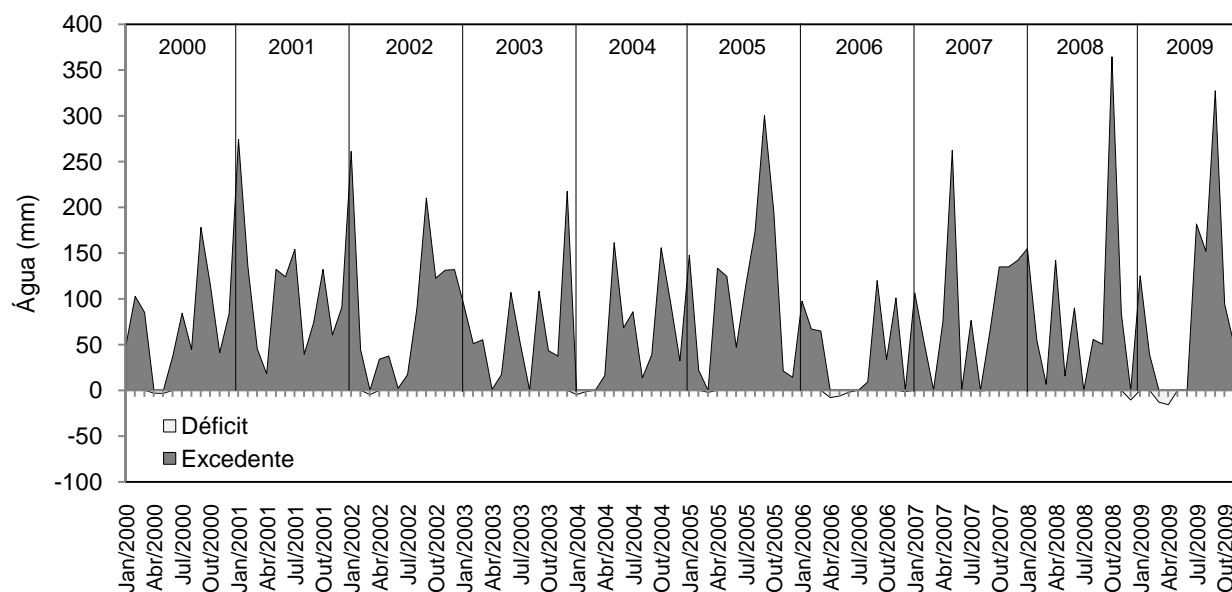


Figura 14 – Balanço hídrico para a região de Rio Negrinho pelo método de Thornthwaite e Mather (1955) para o período de janeiro de 2000 a dezembro de 2009. Considerando a capacidade de armazenamento de água no solo de 105 mm. Parcela com menor deficit hidrico

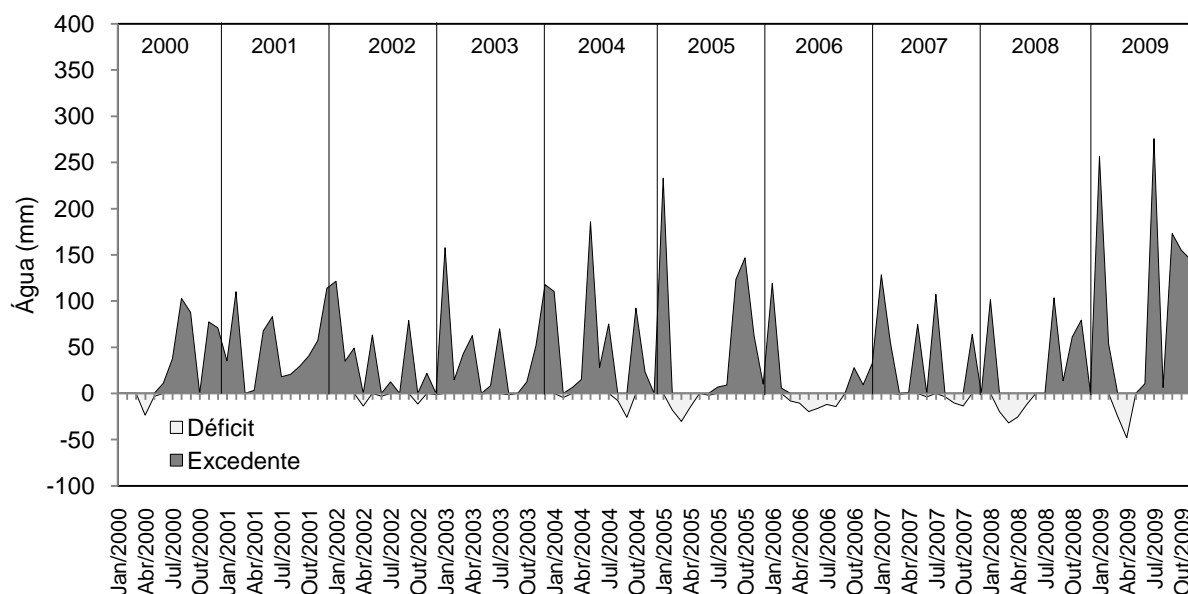


Figura 15 - Balanço hídrico para a região de Jaguariaíva pelo método de Thornthwaite e Mather (1955) para o período de abril de 2000 a dezembro de 2009. Considerando a capacidade de armazenamento de água no solo de 105 mm. Parcela com maior déficit hídrico

Em Rio Negrinho, a déficit hídrico é mínimo e seu excedente é praticamente duas vezes maior que o excedente em Jaguariaíva, ambos com CAD de 105 mm. Em 2006 e 2008 ocorreram os maiores déficits em Jaguariaíva, 81 e 89 mm respectivamente, os quais podem ser visualizados na Figura 15.

4.3 Cubagem e determinação da equação de volume

Na Tabela 9, estão caracterizadas as mensurações de cubagem realizadas no campo e em laboratório. As demais árvores encontram-se na Tabela A do apêndice.

Tabela 9 - Exemplo dos dados das árvores dominantes cubadas com as respectivas quantidades de discos amostrados por árvore (Qdiscos) e a altura máxima em que o último disco foi coletado (Hdisco), determinação do volume com casca (Vc) e sem casca (Vs) por Smalian, porcentagem de casca e a densidade básica da madeira

Região	Parcela	Arv	Idade	Qdiscos	Hdiscos	DAP	Htotal	Vc	Vs	Casca	DBM
-	#	#	(ano)	#	(m)	(cm)	(m)	(m ³)		%	g cm ³
PTG	1	1	8	8	10,3	20,4	12,4	0,209	0,171	18	0,334
PTG	1	2	8	8	10,3	22,0	12,9	0,243	0,195	20	0,341
JGR	14	1	9	11	14,8	31,2	16,8	0,550	0,456	17	0,328
JGR	14	2	9	10	13,3	26,7	15,9	0,380	0,319	16	0,378

Através das informações geradas pela cubagem (Tabela 9), determinou-se a relação entre o DAP com casca e a altura de todas as árvores cubadas (Figura 16).

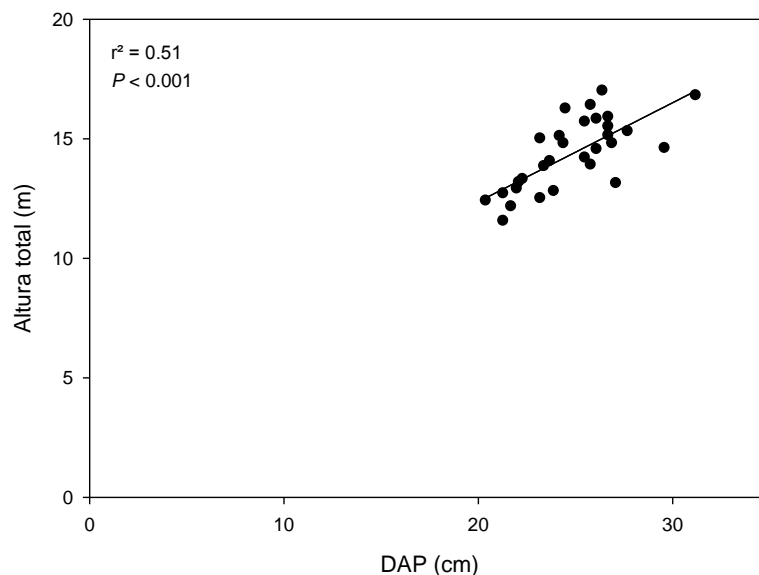


Figura 16 – Relação entre altura total e DAP com casca das árvores dominantes de *P.taeda* cubadas

Para obter uma equação volumétrica representativa da amplitude de DAP e altura dentro das parcelas ao longo dos anos, realizou-se a análise de tronco para calcular o DAP das árvores amostradas em todas as idades desde o plantio.

Assim, com as informações da Tabela 9 dos discos coletados e medidos todos os anéis, foi possível determinar a altura (eq. 2), o DAP e volume sem casca (Smalian) para todas as idades, exemplificado na Tabela 10.

Tabela 10 – Caracterização das mensurações realizadas para as duas árvores dominantes cubadas da parcela 13 na região de Rio Negrinho (RNG), onde o diâmetro à altura do peito sem casca (DAPs) foi determinado pela medição dos anéis de crescimento, a altura (Hest) foi estimada pela equação de curva de sítio e o volume sem casca (Vs) foi calculado para cada idade por Smalian

Arv #	Idade (ano)	DAPs (cm)	Hest (m)	Vs (m³)
1	2	3,2	2,2	0,003
	3	7,4	5,0	0,016
	4	10,9	7,0	0,039
	5	15,0	9,0	0,080
	6	17,7	11,2	0,129
	7	19,8	12,8	0,185
	8	21,6	14,4	0,247
	9	22,9	15,7	0,315
	2	2	5,2	3,7
3		9,4	4,9	0,021
4		12,5	8,1	0,045
5		15,7	10,7	0,087
6		17,6	13,1	0,131
7		19,5	14,4	0,183
8		21,2	16,2	0,239
9		22,4	17,0	0,297

Após calcular o volume sem casca e estimar a altura de todas as idades das parcelas, foi determinado a relação entre DAP sem casca e altura estimada na Figura 17.

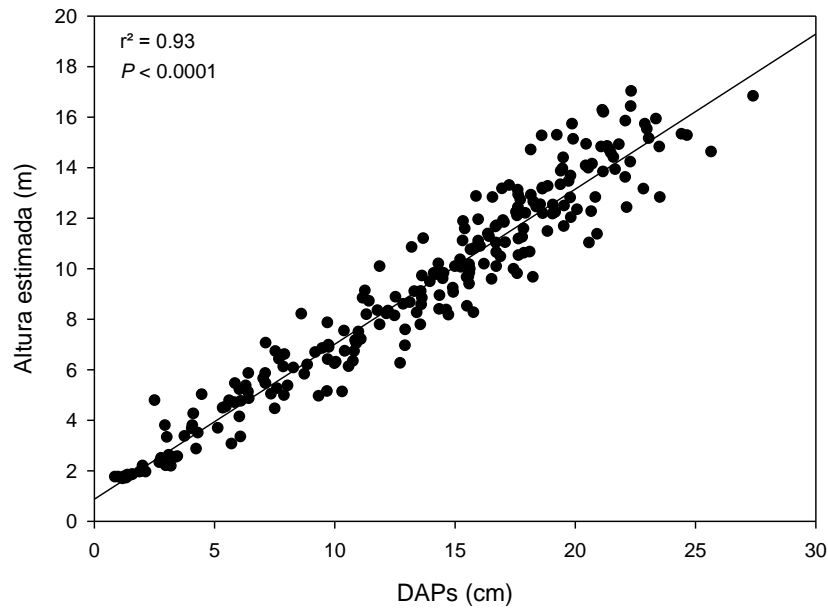


Figura 17 – Altura estimada para todas as idades em relação ao DAP sem casca mensurado utilizando análise de tronco

As Figuras 17 e 18 mostram a consistência dos dados de DAP sem casca e altura, para utilizados na determinação da equação de volume sem casca. Para isso, ajustou-se uma equação de volume sem casca com o modelo de Schumacher e Hall (CAMPOS; LEITE, 2006), representado pela eq. (3):

$$V_s = 0,0000384 \cdot DAP^{2,656} \cdot H^{0,201} \text{ eq.(3)}$$

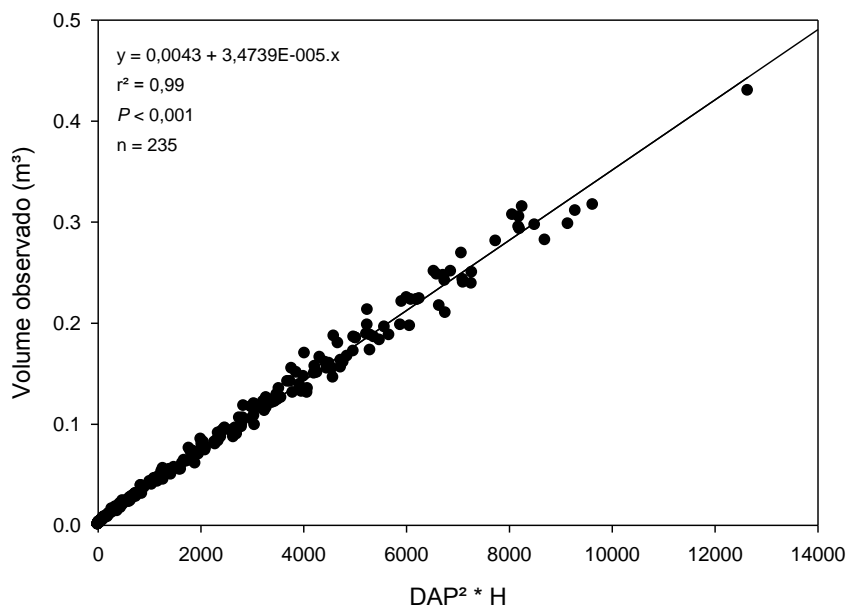


Figura 18 – Relação ente o volume sem casca de todas as idades das árvores cubadas calculado por Smalian em relação ao $DAP^2.H$

A partir da equação de volume sem casca (eq. 3) obtida através dos dados de altura total, DAP e volume sem casca determinado para as árvores cubadas em todas as idades, foi possível estimar o volume sem casca para todas as árvores inventariadas de cada parcela.

Na Figura 19, pode-se verificar o excelente ajuste entre o volume sem casca observado e o volume sem casca estimado pela equação 3.

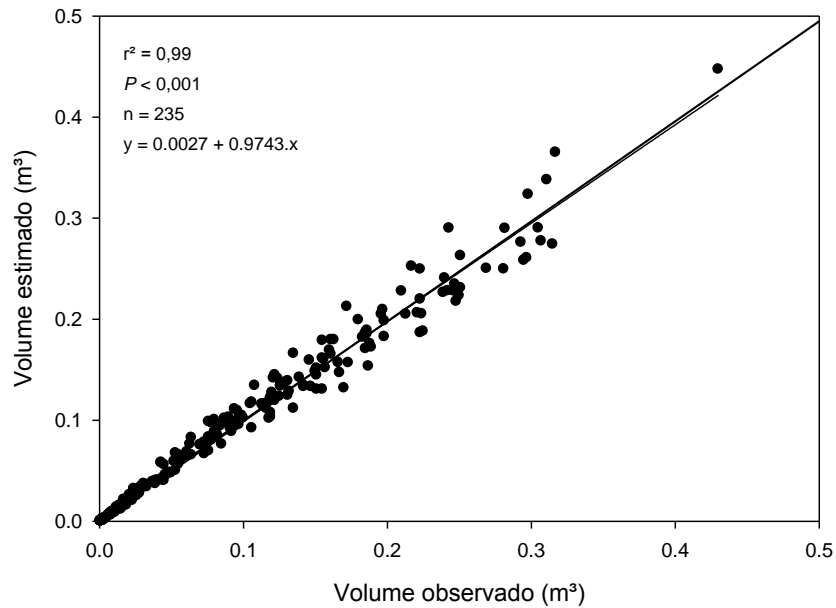


Figura 19 – Relação do volume sem casca calculado por Smalian e o volume estimado sem casca através da equação $V_s = 0,0000384 \cdot DAP^{2,656} \cdot H^{0,201}$

Após determinar a equação de volume, foi possível calcular o volume sem casca para todos os dados de inventário de cada região. É importante ressaltar que para utilizar esta equação de volume, foi necessário ajustar o DAP com casca dos inventários para DAP sem casca, sendo que este ajuste foi feito com os dados de DAP com casca e sem casca das árvores cubadas (Figura 20).

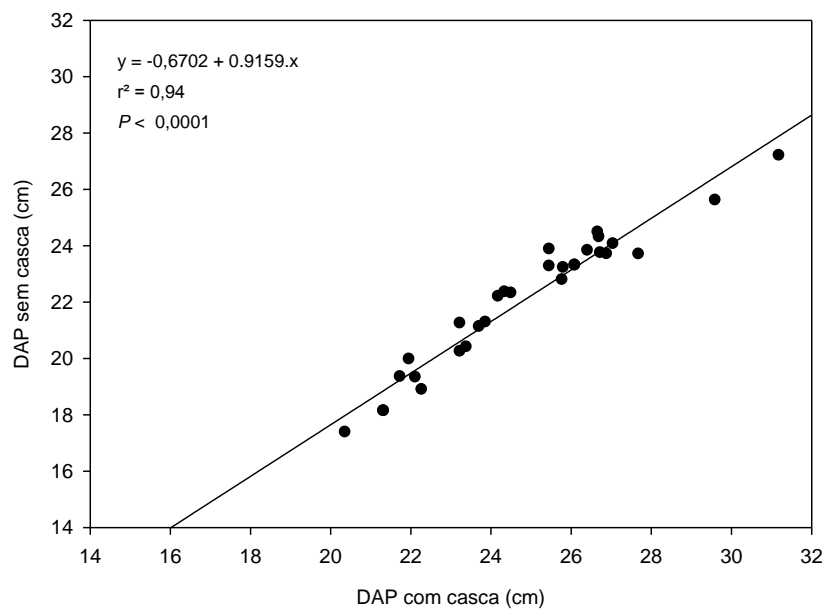


Figura 20 – Relação entre o DAP sem casca com o DAP com casca das árvores de *P.taeda* cubadas

A Tabela 11, ordenada por região, mostra os resultados dendrométricos de DAP médio, altura média e dominante, área basal, volume sem casca e incremento médio anual (IMA) das parcelas de inventário do ano de 2008.

Tabela 11 – Características biométricas das 24 parcelas na idade de corte das árvores dominantes para o estudo, onde estimou-se o o volume sem casca a partir da equação gerada ($Vs = \beta_0 \cdot DAP^{\beta_1} \cdot H^{\beta_2}$) e o incremento médio anual sem casca (IMAs)

Região	Parcela	Idade	Densidade	DAPmed	Hmed	Hdom	AB	Vs	IMAs
-	#	(ano)	(árvo/ha)	(cm)	(m)		(m ² ha ⁻¹)	(m ³ ha ⁻¹)	(m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)
JGR	2	8,5	1656	15,1	10,9	12,4	30,7	110,7	13,0
JGR	4	8,4	1423	17,1	11,5	12,5	45,5	129,4	15,3
JGR	6	8,5	1253	19,1	13,0	14,7	38,0	169,9	20,1
JGR	10	8,9	1636	19,1	12,8	14,6	57,6	210,9	23,6
JGR	14	8,2	1329	19,7	13,5	15,4	43,0	197,3	24,0
JGR	15	8,2	1381	20,2	13,0	14,9	47,0	217,8	26,5
PTG	1	8,0	1249	17,4	12,2	12,9	30,8	123,4	15,4
PTG	3	8,0	1262	18,3	12,7	13,7	34,1	141,1	17,6
PTG	7	8,0	1174	19,8	13,7	14,5	37,2	165,9	20,7
PTG	12	8,0	1567	19,6	13,2	14,7	48,9	215,3	26,9
RNG	5	8,5	1325	17,9	12,1	12,9	34,3	138,6	16,3
RNG	8	8,5	1437	18,3	12,2	12,9	38,6	157,9	18,6
RNG	9	8,5	1466	18,6	12,3	13,4	41,4	175,3	20,7
RNG	11	8,5	1430	19,9	12,9	14,2	45,4	198,7	23,4
RNG	13	8,5	1474	19,6	13,7	14,6	45,4	198,5	23,4
TRB	16	10,2	1392	21,5	16,4	17,1	50,5	243,1	23,8
TRB	17	10,2	1585	20,2	16,3	18,2	52,0	241,7	23,7
TRB	18	10,2	1485	21,1	16,4	17,6	53,3	255,2	25,0
TRB	19	10,2	1517	21,2	16,3	17,1	54,9	262,2	25,7
TRB	20	9,2	1675	20,1	15,2	16,0	54,2	246,0	26,7
TRB	21	9,2	1526	20,8	16,5	18,3	53,2	252,7	27,5
TRB	22	9,2	1638	20,5	15,8	17,0	55,4	257,3	28,0
TRB	23	9,2	1654	20,6	16,0	17,3	56,4	264,2	28,7
TRB	24	9,2	1611	21,2	16,7	17,7	58,2	279,4	30,4

Na Tabela 11 observa-se a amplitude de área basal, estoque de volume e produtividade sem casca encontrada nas 24 parcelas avaliadas. Nota-se que a região de Três Barras apresenta maior produtividade com florestas com mais de 30 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, sendo a região menos produtiva a de Jaguariaíva, com florestas de 13 m³ ha⁻¹ ano⁻¹.

4.4 Curvas de sítio

Através das estimativas de altura dominante realizadas na análise de tronco (Figura 7), foi possível observar os padrões de crescimento em altura (Figura 21) e assim, determinar curvas de sítio para cada parcela.

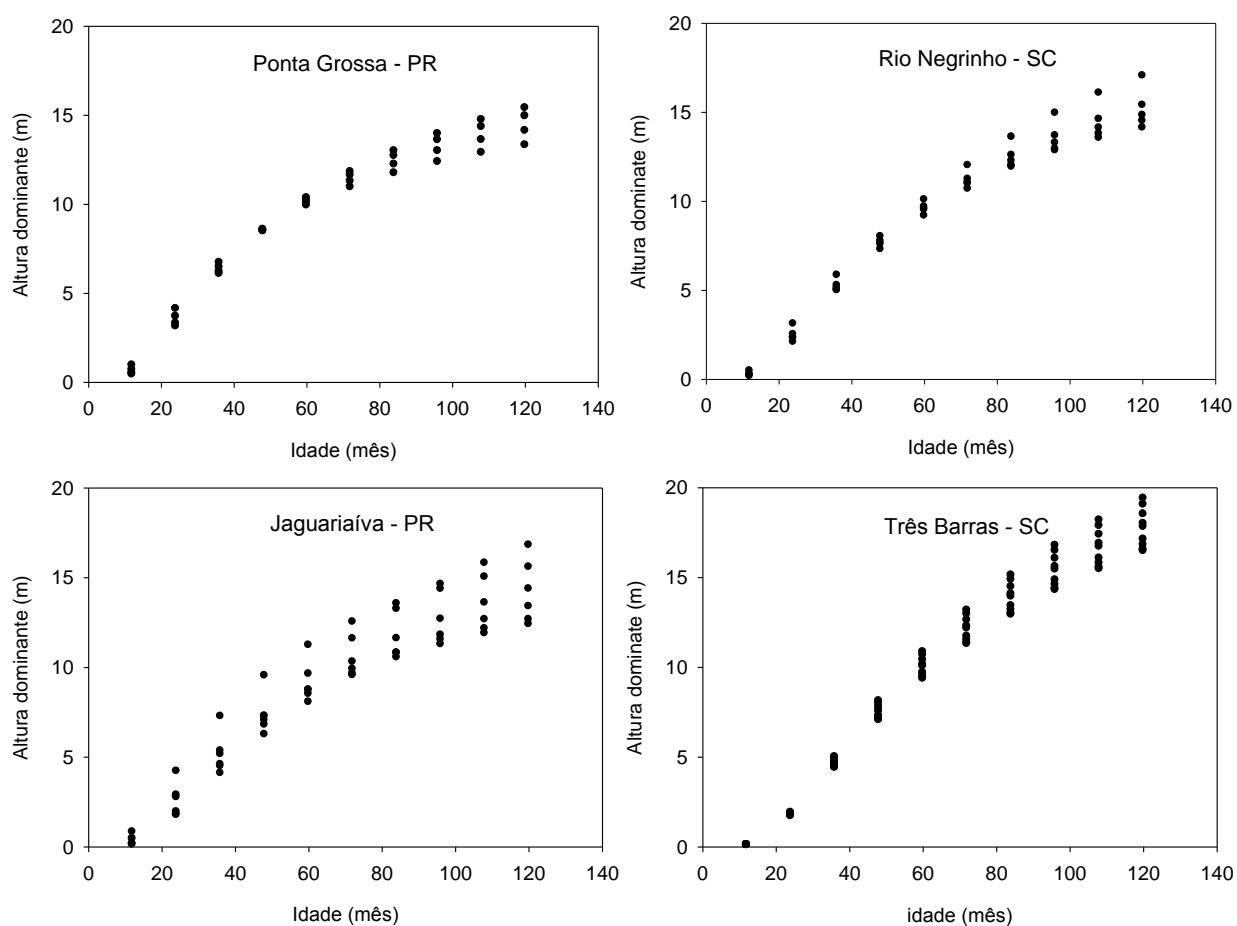


Figura 21 – Altura dominante por idade e por município de todas as árvores cubadas

Na Tabela 12 são apresentados os coeficientes das equações de curva do sítio para cada parcela.

Tabela 12 – Coeficientes (β_0 , β_1) e coeficiente de determinação (r^2) das equações de curva do sítio de *Pinus taeda* para cada parcela. $\ln(Hd_i) = \beta_0 + \frac{\beta_1}{I}$, onde Hd_i é a altura dominante e I a idade em meses. ($P < 0,0001$)

Região	Parcela	β_0	β_1	r^2
JGR	2	2,909	-44,467	0,963
JGR	4	2,893	-45,135	0,990
JGR	6	3,102	-60,941	0,961
JGR	10	3,073	-39,246	0,964
JGR	14	3,379	-66,901	0,993
JGR	15	3,165	-59,960	0,991
PTG	1	2,882	-35,236	0,974
PTG	3	2,983	-40,320	0,948
PTG	7	3,082	-45,309	0,916
PTG	12	3,132	-47,755	0,989
RNG	5	3,133	-55,012	0,952
RNG	8	3,026	-45,428	0,873
RNG	9	3,205	-56,605	0,969
RNG	11	3,139	-53,231	0,989
RNG	13	3,360	-63,010	0,987
TRB	16	3,366	-67,863	1,000
TRB	17	3,409	-68,328	1,000
TRB	18	3,372	-67,902	1,000
TRB	19	3,389	-68,098	1,000
TRB	20	3,452	-68,738	0,999
TRB	21	3,546	-69,721	1,000
TRB	22	3,463	-68,871	0,999
TRB	23	3,495	-69,209	0,999
TRB	24	3,526	-69,546	1,000

Com base na Tabela 12, calculou-se uma curva de sítio por parcela até a idade de 10 anos (120 meses), representada na Figura 22.

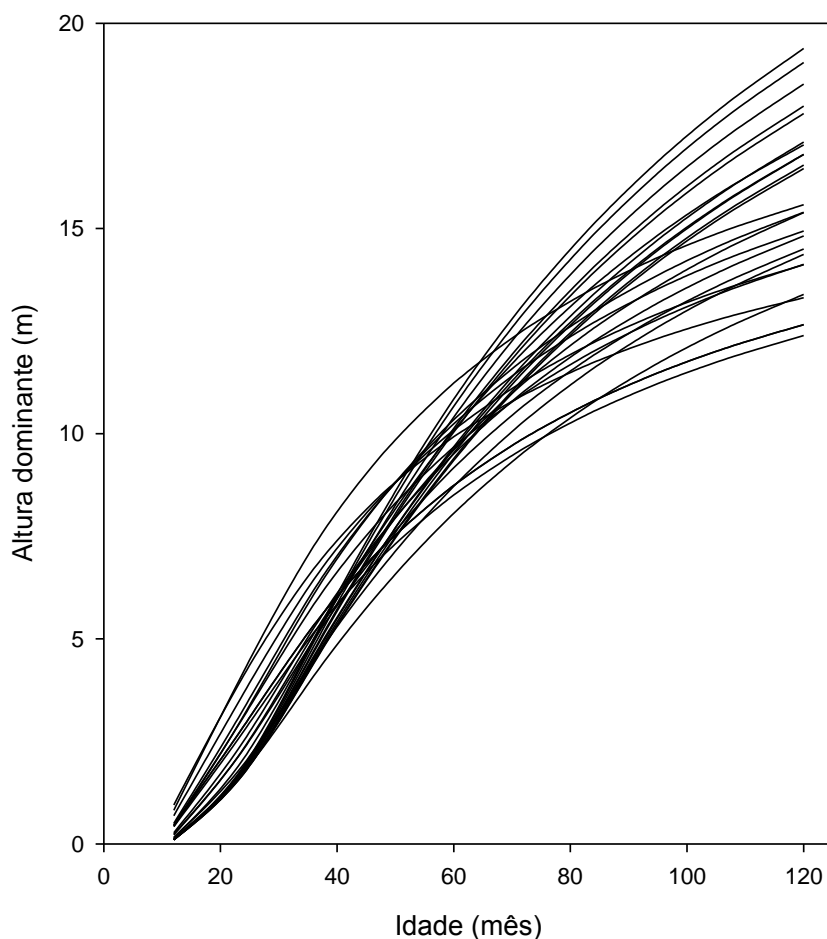


Figura 22 – Curvas de sítio por parcela geradas pela eq. (6). Cada linha representa uma parcela ($n = 24$).

$$\text{Eq. (6): } \ln(Hd_i) = \beta_0 + \frac{\beta_1}{I}$$

Nota-se na Figura 22 a amplitude da altura dominante, que variou em 66% (12 a 19 metros). Nota-se também inversão nos padrões de crescimento em altura para cada parcela, onde inicialmente parcelas que possuíam altura dominante menor em comparação às outras, a partir dos 5º ou 6º anos de idade (60 a 72 meses), superaram-nas na idades maiores.

4.5 Massa específica aparente: determinação da biomassa do fuste

Na Tabela 13, podemos verificar a massa específica aparente média determinada para cada idade da árvore amostrada, juntamente com seu estoque anual de volume para duas parcelas em Jaguariaíva com baixa e alta produção em volume por hectare. As demais árvores encontram-se na Tabela B do apêndice.

Tabela 13 - Exemplo dos banco de dados das medições da massa específica aparente média (Me) a 12% de umidade, através da densitometria de raios X, e volume sem casca por parcela e ano

Região	Parcela	Idade (ano)	2	3	4	5	6	7	8	9
JGR	4	Me (g.cm ⁻³)	0,406	0,434	0,441	0,457	0,460	0,477	0,486	0,491
		Vsc (m ³ ha ⁻¹)	1,0	10,3	31,2	57,0	80,7	93,9	107,6	129,4
	14	Me (g.cm ⁻³)	0,441	0,437	0,441	0,462	0,467	0,480	0,484	0,486
		Vsc (m ³ ha ⁻¹)	0,4	8,5	32,1	71,2	115,6	152,4	197,3	241,5

A Figura 23 permite visualizar a variação da massa específica aparente por sítio e ao longo da idade, onde a massa específica no primeiro ano variou de 0,380 a 0,460 g cm⁻³ e de 0,420 a 0,480 g cm⁻³ no oitavo ano.

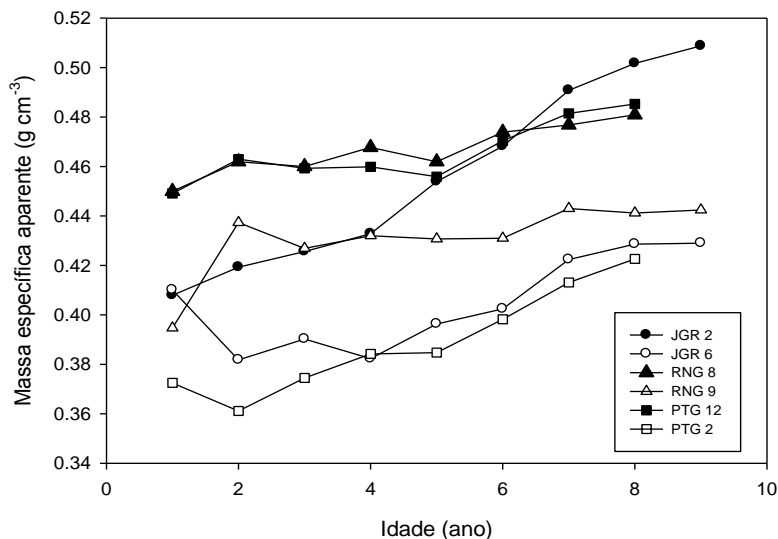


Figura 23 – Elevação da massa específica aparente com a idade, classificados por parcela e massa específica do último ano. Símbolos pretos são as parcelas com massa específica maior e os símbolos brancos menor dentro da região

Comparando a massa específica aparente com densidade básica da madeira na idade de corte das árvores amostradas, podemos observar que a relação entre as variáveis é linear positiva com um coeficiente de determinação de 0,63 e que a massa específica é, como esperado, cerca de 12% maior que a densidade básica da madeira.

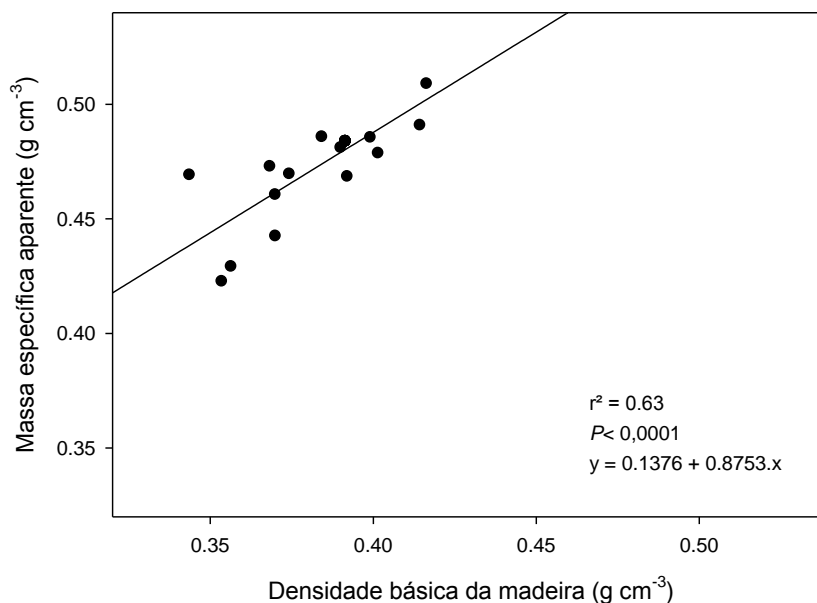


Figura 24 – Massa específica aparente em relação à densidade básica da madeira na idade em que as árvores foram cubadas (entre 8 a 10 anos)

Assim, com os dados de volume e com a massa específica aparente por parcela e por ano calculou-se a biomassa do fuste sem casca através da eq. (7) e a produtividade em $\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, sendo que a biomassa com casca foi calculada somente para os 9 anos de idade, conforme a Tabela 14.

Tabela 14 – Índice de sítio (IS) de idade base 10 anos e caracterização da produção em volume sem casca (Vs) e com casca (Vc), da massa seca do fuste sem casca (MSs) e com casca (MSc), e das produtividades em volume e biomassa sem casca (IMAs) e com casca (IMAc) das 24 parcelas aos 9 anos de idade, ordenado por região e por parcela

Região	Parcela	IS	Vs	Vc	MSs	MSc	IMAvs	IMAvc	IMAs	IMAmc
-	#	(m, 10 anos)	(m ³ ha ⁻¹)	(m ³ ha ⁻¹)	(Mg ha ⁻¹)	(Mg ha ⁻¹)	(m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	(m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	(Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	(Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹)
JGR	2	12,7	110,71	132,27	50,3	55,5	12,30	14,7	5,6	6,2
JGR	4	12,4	129,44	157,58	56,7	64,5	14,38	17,5	6,3	7,2
JGR	6	13,4	169,89	198,04	65,1	71,4	18,88	22,0	7,2	7,9
JGR	10	15,6	210,89	245,29	90,1	101,2	23,43	27,3	10,0	11,2
JGR	14	16,8	241,45	281,57	104,7	114,9	26,83	31,3	11,6	12,8
JGR	15	14,4	241,97	291,70	101,4	113,4	26,89	32,4	11,3	12,6
PTG	1	13,3	148,97	177,03	62,9	68,9	16,55	19,7	7,0	7,7
PTG	3	14,1	158,98	192,84	66,5	75,1	17,66	21,4	7,4	8,3
PTG	7	14,9	209,67	243,35	79,1	87,1	23,30	27,0	8,8	9,7
PTG	12	15,4	230,61	263,36	99,9	107,3	25,62	29,3	11,1	11,9
RNG	5	14,5	164,27	189,86	68,8	75,2	18,25	21,1	7,6	8,4
RNG	8	14,1	151,26	176,80	64,9	71,7	16,81	19,6	7,2	8,0
RNG	9	15,4	182,86	211,07	72,2	81,7	20,32	23,5	8,0	9,1
RNG	11	14,8	222,32	250,99	91,4	98,5	24,70	27,9	10,2	10,9
RNG	13	17,0	234,43	263,56	101,2	109,8	26,05	29,3	11,2	12,2
TRB	16	16,5	212,33	238,72	91,7	99,4	23,59	26,5	10,2	11,0
TRB	17	17,1	214,57	241,24	92,7	100,5	23,84	26,8	10,3	11,2
TRB	18	16,5	222,90	250,60	96,3	104,4	24,77	27,8	10,7	11,6
TRB	19	16,8	230,43	259,07	99,5	107,9	25,60	28,8	11,1	12,0
TRB	20	17,8	245,95	276,52	106,2	115,2	27,33	30,7	11,8	12,8
TRB	21	19,4	252,71	284,12	109,1	118,3	28,08	31,6	12,1	13,1
TRB	22	18,0	257,29	289,27	111,1	120,5	28,59	32,1	12,3	13,4
TRB	23	18,5	264,24	297,08	114,1	123,7	29,36	33,0	12,7	13,7
TRB	24	19,0	279,38	314,11	120,7	130,8	31,04	34,9	13,4	14,5

Em média, entre todos os sítios, temos um índice de sítio de 16 m e um estoque de 239 m³ ha⁻¹ e um IMA de 27 m³ ha⁻¹ ano⁻¹. Comparando regiões com diferentes produtividades, a produção em biomassa e em volume foi 130% maior na parcela na região de Três Barras (alta produtividade), com IS de 19 m, estoque de 314 m³ ha⁻¹ e IMAc de 35 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, do que na região de Jaguariaíva, menos produtiva, com IS de apenas 13 m, estoque de 132 m³ ha⁻¹ e IMAc de 15 m³ ha⁻¹ ano⁻¹. Resultados semelhantes foram observados por Bizon (2005) em Jaguariaíva onde, encontrando uma variação de 138% do IMA entre o sítio mais e menos produtivo.

4.6 Produtividade e as variáveis edafoclimáticas e de povoamento

Na Figura 25 é possível notar as correlações significativas ($P < 0,0001$) entre o incremento médio anual em volume e biomassa com e sem casca e o índice de sítio.

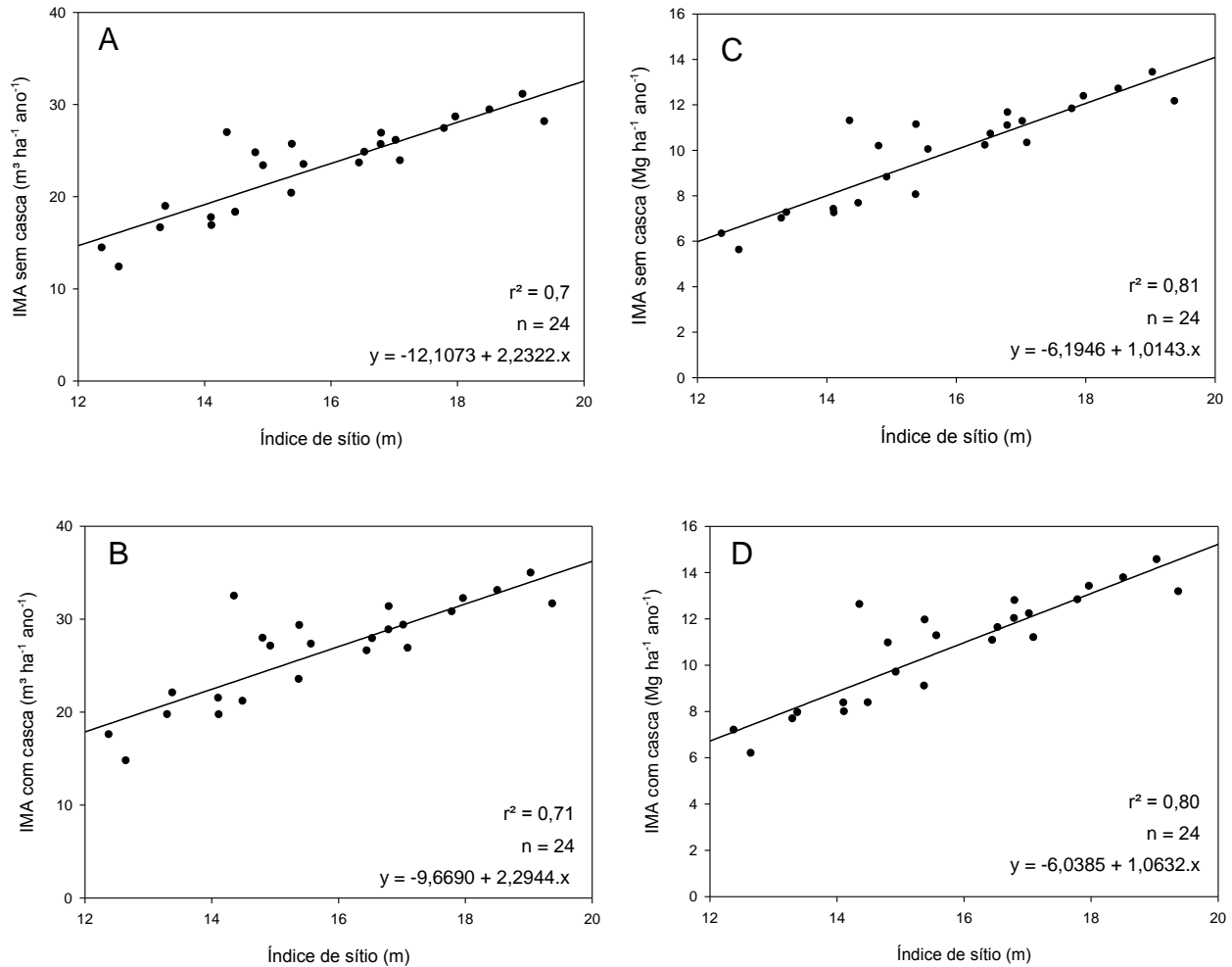


Figura 25 – Relação entre os incrementos médios anuais (IMA) aos 9 anos de idade com o índice de sítio de idade base 10. A) IMA do volume sem casca em relação ao índice de sítio; B) IMA do volume com casca em relação ao índice de sítio; C) IMA da biomassa sem casca em relação ao índice de sítio; D) IMA da biomassa com casca em relação ao índice de sítio

Com o objetivo de investigar as possíveis relações entre a produtividade (IMA e IS) do *Pinus taeda* com variáveis edáficas, climáticas e do povoamento, utilizou-se neste trabalho a correlação de Pearson para comparar tais fatores (Tabela 15).

Tabela 15 – Variáveis selecionadas (para $P < 0,05$) utilizando a correlação de Pearson, possuindo o incremento médio anual com casca (IMAc₉) aos 9 anos e índice de sítio (IS₁₀) de idade base 10 como variáveis dependentes e variáveis independentes organizadas por povoamento (Pov.), solo e clima

Índice	Variável	Correlação de Pearson positiva	Correlação de Pearson negativa
IMAc ₉	Pov.	IS ₁₀ (< 0,001)	Altitude (0,011)
	Solo	QP (0,035); QNP (0,031)	-
	Clima	-	Tmin (0,012)
IS ₁₀	Pov.	Latitude (0,001)	Altitude (< 0,001)
	Solo	MO (0,014); Arg (0,05); QN (0,017); QNP (0,019)	-
	Clima	-	DEF (0,050); Tmin (< 0,001)

Houve correlação positiva do incremento médio anual com casca aos 9 anos de idade (IMAc₉) com variáveis do solo (quantidade de fósforo – QP, quantidade de nitrogênio vezes fósforo disponível no solo – QNP) e correlação negativa com altitude e temperatura mínima. Para o índice de sítio, além da correlação com as mesmas variáveis do IMAc₉, também houve correlação positiva com a latitude, matéria orgânica (MO) e teor de argila e correlação negativa com o déficit hídrico.

Assim, foram gerados os modelos lineares para o IMAc₉ e IS₁₀, descritos na Tabela 16 e comparados com os valores observados na Figura 26.

Tabela 16 – Modelos lineares, calculados pelo método Stepwise, para o incremento médio anual com casca aos 9 anos de idade (IMAc₉) e índice de sítio de idade base 10 anos (IS₁₀), coeficiente de determinação (r^2) de cada modelo de acordo com a variável independente (povoamento, solo e clima). QNP – quantidade de nitrogênio e fósforo disponível no solo (kg ha^{-1}); MO – matéria orgânica do solo (g dm^{-3}); DEF – deficiência hídrica (mm)

Variável	Modelo
[povoamento]	$IMAc_9 = -9,669 + 2,294 \cdot IS_{10}$ ($r^2 = 0,71$; $P < 0,001$, $n = 24$)
[solo + clima]	$IMAc_9 = 22,091 + 0,00003 \cdot QNP$ ($r^2 = 0,19$; $P = 0,03$, $n = 24$)
[solo + clima]	$IS_{10} = 14,003 + 0,080 \cdot MO - 0,067 \cdot DEF$ ($r^2 = 0,38$; $P = 0,01$, $n = 24$)

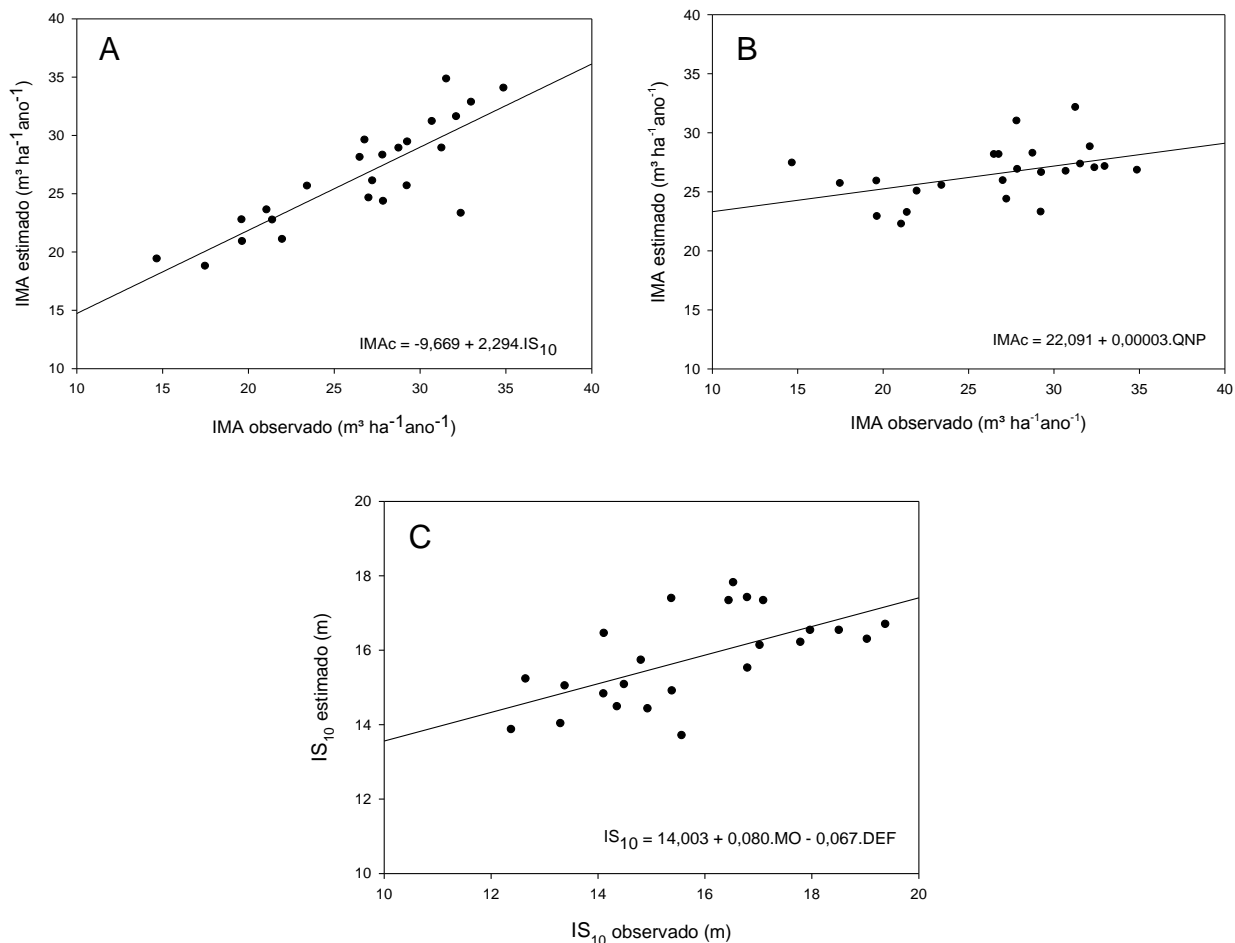


Figura 26 – Comparação entre os valores estimados do incremento médio anual com casca aos 9 anos de idade (IMA_{c_9}) e índice de sítio de idade base 10 anos (IS_{10}), com os valores observados para os modelos: A) $IMA_{c_9} = -9,669 + 2,294 \cdot IS_{10}$; B) $IMA_{c_9} = 22,091 + 0,00003 \cdot QNP$; C) $IS_{10} = 14,003 + 0,080 \cdot MO - 0,067 \cdot DEF$

Estes resultados apontam para uma dependência do *Pinus taeda* em relação aos teores de N, P, e provavelmente dos demais nutrientes, para seu adequado crescimento, confirmando os trabalhos de Albaugh et al (2010), Albaugh et al. (1998) e Bizon (2005). Quanto ao déficit hídrico, sua minimização favorece o crescimento do *P. taeda*, o que encontra também respaldo nos estudos de Schultz (1997) e Shimizu (2005). Face à superioridade de produção da região de Três Barras em relação às demais, que não diferiram estatisticamente entre si, elaborou-se a Tabela 17 confrontando todas as variáveis estudadas (povoamento, solo e clima) entre Três Barras e as demais através do teste t.

Tabela 17 – Comparação das variáveis de povoamento, edáficas e climáticas entre a região de Três Barras (TRB) com as demais (JGR – Jaguariaíva, PTG – Ponta Grossa e RNG – Rio Negrinho). IMAvc9 e IMAvs9 em $m^3 ha^{-1}ano^{-1}$; IMAmc9 e IMAs9 em $Mg ha^{-1}ano^{-1}$; IS em metros; MO em $g dm^{-3}$; P em $mg dm^{-3}$; K, Ca, Mg e CTC em $mmolc dm^{-3}$; Q (N, P, N*P, K, Ca e Mg) em $kg ha^{-1}$. Teste t ($P < 0,05$)

Variável	TRB n=9	JGR, PTG, RNG n=15	Delta	p-value
-	-	-	-	-
IMAvc9	30,3	24,2	+6,1	0,005
IMAvs9	26,9	20,8	+6,1	0,002
IMAms9	11,6	8,7	+2,9	0,001
IMAmc9	12,6	9,6	+3,0	0,001
IS	17,7	14,5	+3,2	<0,0001
MO	53,7	36,1	+17,6	<0,0001
P	3,2	3,1	-	ns
K	0,9	0,7	-	ns
Ca	3,4	2,3	-	ns
Mg	1,6	1,2	-	ns
CTC	200	143	+57	0,017
QN	4358	2735	+1623	<0,0001
QP	45	40	-	ns
QN*P	197424	116711	+80713	0,01
QK	527	366	-	ns
QCa	964	615	-	ns
QMg	268	182	-	ns
Areia	23	47	-24	0,012
Argila	64	41	+23	0,003
CAD	140	116	+24	0,026
Altitude	806	916	-110	0,003
Latitude	26,1	25,1	+1	0,002
CVV	42	49	-7	0,05
PB50	34	30	-4	0,05
Prof	1,4	1,3	-	ns
PPT	1446	1478	-	ns
ETP	840	888	-	ns
ETR	818	799	+19	0,007
DEF	20	27	-	ns
EXC	719	660	-	ns
Tmax	24,1	24,5	-	ns
Tmin	11,7	13,3	-1,6	<0,0001
Tmed	17,9	18,9	-	ns

A produtividade (IMA) e índice de sítio (IS) de Três Barras foi significativamente maior em comparação à Jaguariaíva, Ponta Grossa e Rio Negrinho. Portanto, podemos especular que a produtividade foi influenciada positivamente pela matéria orgânica do solo, capacidade de troca de cátions (CTC), quantidade de nitrogênio disponível e sua interação com a quantidade de fósforo, teor de argila, CAD e evapotranspiração real. As florestas mais produtivas tenderam também a estar associadas a temperaturas mínimas mais amenas (SCHULTZ, 1997) e a serem mais uniformes (maior PB50) (BINKLEY et al, 2002).

Resultados semelhantes foram encontrados por diversos autores para as variáveis citadas acima. Para o N e P, Bizon (2005) observou correlação significativa da produtividade com o N mineralizável e a interação entre N e P em plantios de *P. taeda*. Dedecek et al. (2008) encontraram teores de P relacionados à sítios mais produtivos para a mesma espécie. Albaugh et al. (2010) conclui que o N, P e S foram os nutrientes mais limitantes do *P. taeda* no sul dos Estados Unidos

Ganhos em produtividade com o aumento da matéria orgânica e teor de argila no solo também tem sido constatado por diversos autores (DEDECEK et al., 2008; RIGATTO; DEDECEK; MATTOS, 2005; ZERPA et al., 2010). O teor de argila por sua vez, está relacionado à capacidade de armazenamento de água, influenciando no balanço hídrico, favorecendo assim plantios em solos argilosos e profundos, devido a redução do déficit hídrico em locais com precipitação bem distribuída ao longo do ano, como as regiões estudadas neste trabalho.

O déficit hídrico, ou seja, limitações de suprimento de água para a planta, também foi uma variável limitante do crescimento do *Pinus* em diversos trabalhos (JOHNSON, 1990; NEARY et al., 1990; WATERWORTH et al., 2007).

4.7 Caracterização dos padrões de crescimento do *Pinus taeda*

Com dados obtidos da análise de tronco, foi possível caracterizar o crescimento dos povoamentos ao longo dos anos e comparar as variáveis biométricas entre as regiões, parcelas e idades.

A Figura 27 caracteriza o incremento médio do DAP entre as regiões. Podemos observar um maior ritmo de crescimento de 2 até os 6 anos de idade, havendo redução desse ritmo a partir dos 6 anos. Porém a floresta continua a crescer diametricamente até a idade estudada (9 anos), sendo que não foi possível detectar grandes diferenças no DAP médio entre Três Barras e os outros locais menos produtivos (Tabela C do apêndice).

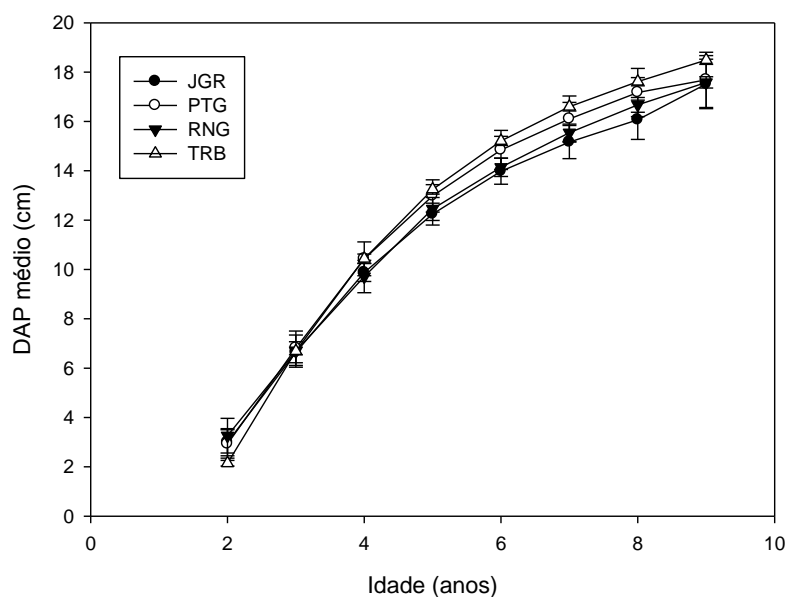


Figura 27 – Diâmetro à altura do peito (DAP) médio por região para todas as idades. As barras representam o desvio padrão da média. JGR – Jaguariaíva, PTG – Ponta Grossa. TRB – Três Barras e RNG – Rio Negrinho

Entretanto, na Figura 28 caracterizou-se o crescimento em altura ao longo da idade dos quatro municípios, onde observa-se valores mais contrastantes de Três Barras em relação à Jaguariaíva, Ponta Grossa e rio Negrinho (Tabela D, E e F do apêndice).

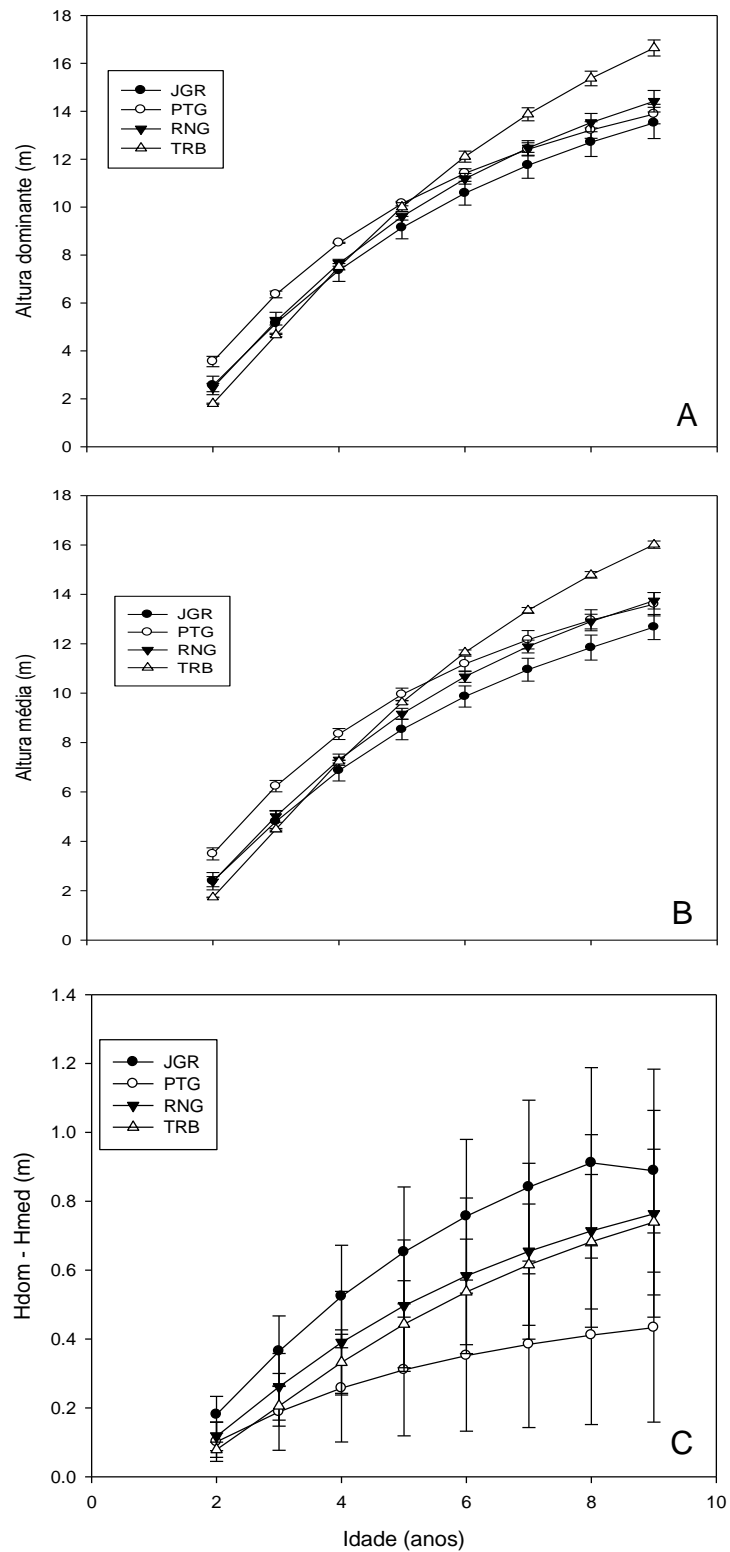


Figura 28 – Caracterização do crescimento por local e idade: A - altura dominante média (Hdom); B - altura média (Hmed) e C - diferença entre as médias da altura dominante com a altura média (Hdom – Hmed). As barras representam o desvio padrão da média

Nota-se que o mesmo padrão de crescimento para a altura dominante e altura média (Figuras 28-A e B), havendo uma diferença de aproximadamente 2 m entre o local mais produtivo (TRB) e os outros três. Albaugh et al. (2004) e Albaugh, Allen e Fox (2006) estudando *Pinus taeda* na Carolina do Norte, encontraram valores de altura média em árvores com 9 anos de idade de aproximadamente 6 m, enquanto que nas parcelas deste estudo, a altura média de 9 m ocorreu aos 5 anos de idade (Figura 28-B).

A Figura 28 C mostra dentro de cada local, a influência da idade na uniformidade da floresta. A medida que a floresta se desenvolve, aumenta a competição por recursos e conseqüentemente a diferença entre as árvores dominantes e as suprimidas tendem a ser maior, corroborado pelos trabalhos de Boyden, Binkley e Stape (2008) e Boyden et al. (2005).

Nota-se na Figura 29, a diferença entre o crescimento anual em Mg ha^{-1} das quatro regiões, onde o ICA máximo foi observado ao redor do 7º ano, sendo seu valor para Três Barras 88% superior ao de Ponta Grossa. O comportamento caótico do ICA da região de Ponta Grossa deve estar associado a um erro sistemático do inventário de 2009.

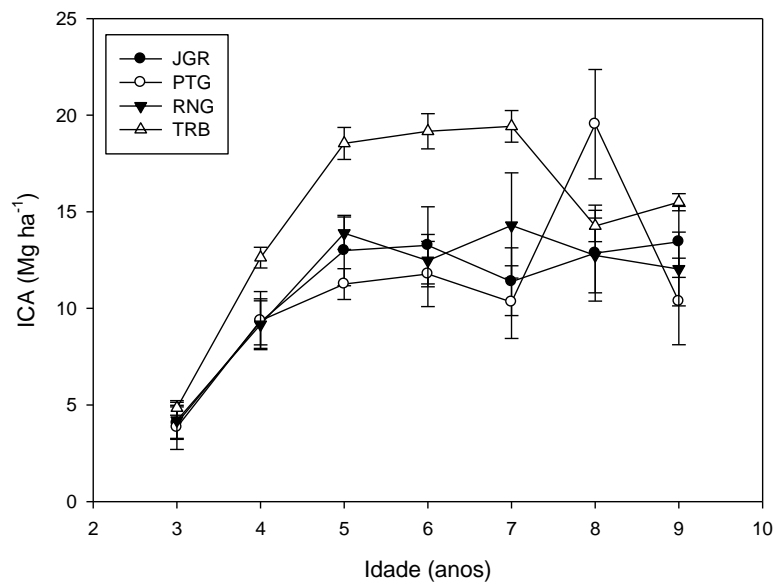


Figura 29 – Incremento corrente anual (ICA) de 3 a 9 anos de idade separado por região. JGR – Jaguariáiva, PTG – Ponta Grossa. TRB – Três Barras e RNG – Rio Negrinho. As barras representam o desvio padrão da média

Nota-se pela Figura 30 que o IMA (Mg ha⁻¹ ano⁻¹) em todos os locais ainda está em crescimento, como está detalhado na Tabela H do apêndice.

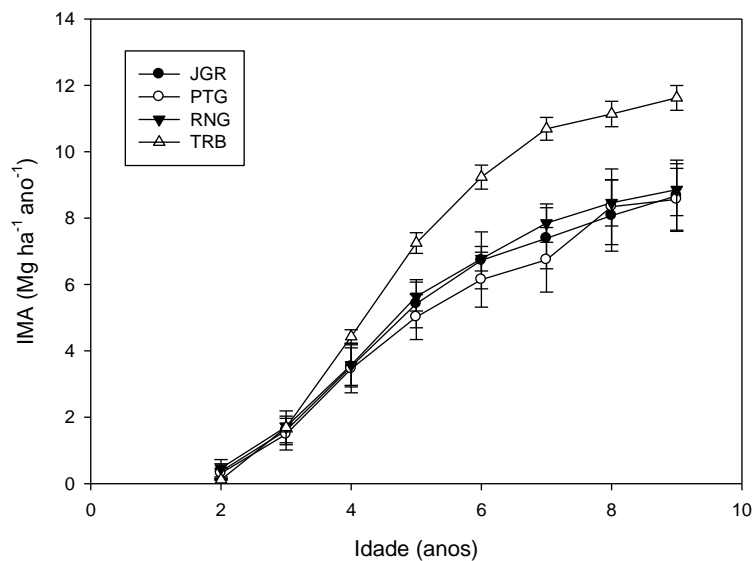


Figura 30 – Incremento médio anual (IMA) de massa seca dos 4 municípios estudados até a idade de 9 anos. JGR – Jaguariáiva, PTG – Ponta Grossa. TRB – Três Barras e RNG – Rio Negrinho. As barras representam o desvio padrão da média

É notório o elevado ritmo de crescimento de Três Barras em comparação com as outras localidades. Aos 9 anos de idade, a produtividade em TRB foi 36% maior que o local menos produtivo (PTG), representando um aumento de $9 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para $12 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

A Figura 31 demonstra o estoque de massa seca por hectare ao longo dos anos por parcela e por região. Estes dados estão descritos na Tabela I do apêndice.

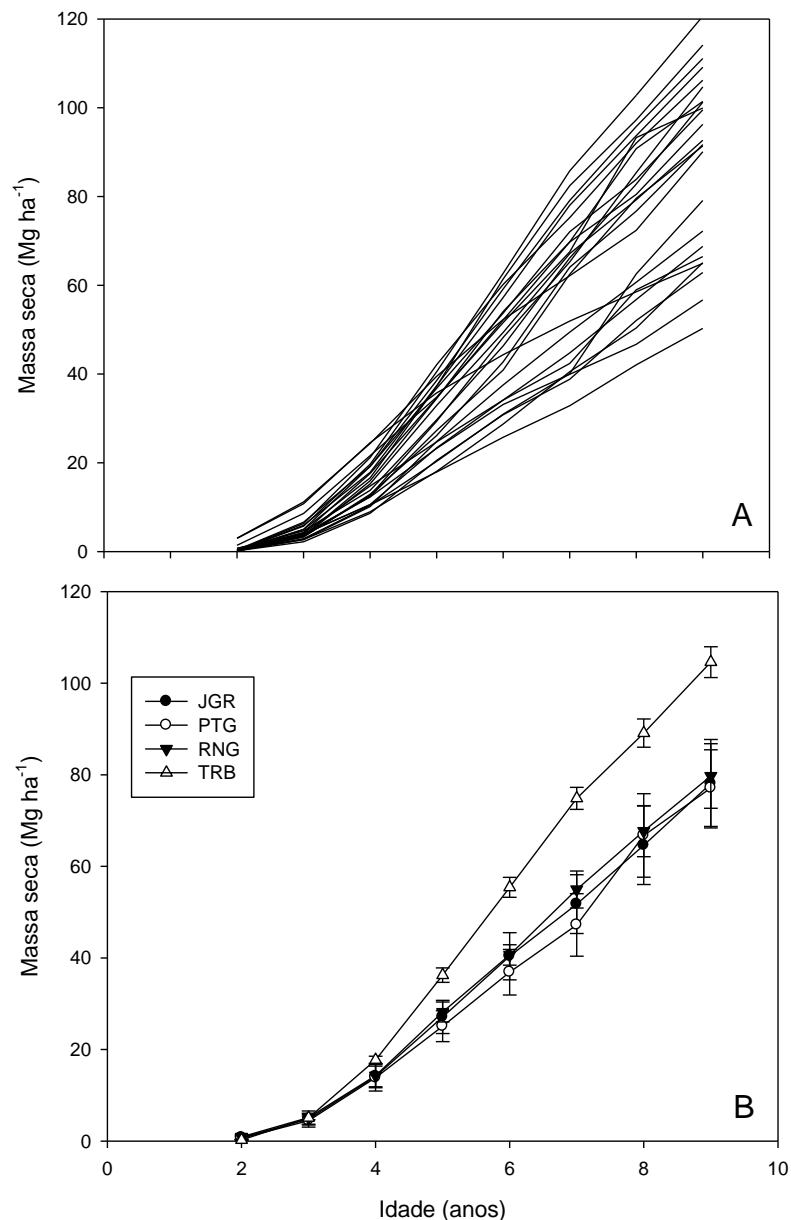


Figura 31 – Massa seca (Mg ha⁻¹) de 2 a 9 anos de idade. A – Massa seca das 24 parcelas; B – Massa seca média separada por região. JGR – Jaguariaíva, PTG – Ponta Grossa. TRB – Três Barras e RNG – Rio Negrinho. As barras representam o desvio padrão da média

A produção de massa seca do fuste aos 9 anos de idade variou de 92 a 120 Mg ha⁻¹, 65 a 100 Mg ha⁻¹, 63 a 100 Mg ha⁻¹ e de 50 a 100 Mg ha⁻¹ para as parcelas de Três Barras, Rio Negrinho, Jaguariaíva e Ponta Grossa, respectivamente. Assim, na Figura 31-A fica claro os diferentes padrões de crescimento para cada parcela.

Enquanto que na Figura 31-B, novamente é possível notar a superioridade da região de Três Barras.

Cobb et al. (2008) encontraram valores entre 24 a 42 Mg ha⁻¹ em plantios com 6 anos de idade instalados na Georgia-EUA, sendo o maior valor em parcelas fertilizadas e irrigadas. No presente estudo, aos 6 anos de idade a biomassa do fuste variou de 26 a 63 Mg ha⁻¹ em parcelas sem adição de fertilizantes ou de irrigação. Este fato nos mostra a superioridade da produtividade dos plantios de *Pinus taeda* no Brasil, e o aumento da capacidade produtiva da espécie em locais com menores restrições ao crescimento.

Para saber a capacidade de suporte de cada parcela, ajustou-se uma equação de biomassa do fuste em função da idade (eq. 11), onde os respectivos coeficientes encontram-se na Tabela 18.

$$\text{Ln}(Ms) = a + \frac{b}{I} \quad (11)$$

Onde:

Ms = massa seca do fuste (Mg ha⁻¹)

I = idade (ano)

a, b = coeficientes da regressão (Tabela 18)

Tabela 18 – Coeficientes (a, b) da equação de regressão da massa seca do tronco (Ms) em relação à idade (I) ordenados por parcela. Média dos coeficientes por região e média geral. Eq. (10):

$$\ln(Ms) = a + \frac{b}{I}$$

Região	Parcela	a	b	r ²	n
JGR	2	5,24182	-11,84508	0,998	8
JGR	4	5,58541	-12,88800	0,995	8
JGR	6	5,71350	-14,10442	0,999	8
JGR	10	5,39332	-8,68899	0,998	8
JGR	14	6,58761	-16,52678	0,998	8
JGR	15	6,66537	-16,46679	0,994	8
PTG	1	5,95389	-15,49983	0,998	8
PTG	3	5,49493	-11,68828	0,997	8
PTG	7	6,04009	-15,30259	0,997	8
PTG	12	5,80538	-10,94679	0,999	8
RNG	5	5,49255	-11,92665	0,995	8
RNG	8	5,11180	-8,01915	0,997	8
RNG	9	6,16449	-15,66483	0,997	8
RNG	11	6,23310	-14,90063	0,999	8
RNG	13	6,11797	-13,67491	0,999	8
TRB	16	6,49868	-16,46559	0,996	8
TRB	17	6,60829	-16,55781	0,991	8
TRB	18	6,47247	-15,40571	0,992	8
TRB	19	6,48055	-15,14568	0,991	8
TRB	20	6,61789	-15,35955	0,984	8
TRB	21	6,54178	-15,12424	0,993	8
TRB	22	6,45262	-14,40204	0,994	8
TRB	23	6,81996	-16,66415	0,990	8
TRB	24	6,89999	-16,71529	0,985	8
JGR	-	5,86450	-13,42001	0,926	48
PTG	-	5,82357	-13,35937	0,933	32
RNG	-	5,82398	-12,83724	0,934	40
TRB	-	6,59910	-15,76001	0,984	72
Geral	-	5,95389	-15,49983	0,945	192

Na Tabela 18, podemos observar a capacidade de suporte de cada parcela representado pelo coeficiente a (para idade infinita, $M_s = e^a$). As parcelas de Três Barras possuíam maior capacidade de suporte, comparativamente as demais regiões ($734 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ versus $340 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$). Nota-se também pelo coeficiente b (se IMA é máximo, idade = b), que a culminação do IMA deve ocorrer por volta dos 13 a 16 anos.

Por meio do cálculo da porcentagem de biomassa de 50% das árvores mais finas da parcela em relação à biomassa total - PB50 (Tabela J do apêndice), podemos avaliar o nível de homogeneidade do plantio, representada na Figura 32.

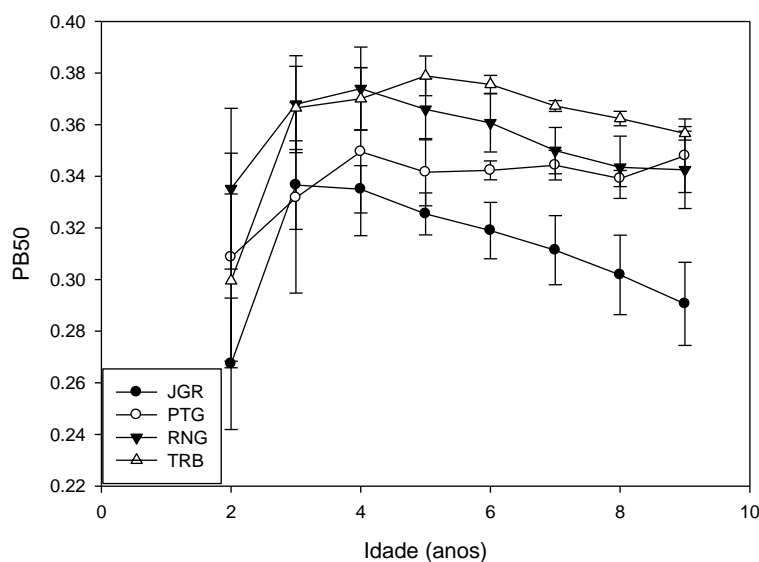


Figura 32 – Índice da porcentagem média por região de biomassa de 50% das menores árvores da parcela em relação à biomassa total (PB50) nas idades de 2 a 9 anos. JGR – Jaguariaíva, PTG – Ponta Grossa. TRB – Três Barras e RNG – Rio Negrinho. As barras representam o desvio padrão da média

Na Figura 32 observa-se que quando o plantio está na fase inicial de desenvolvimento (2 a 3 anos) a floresta vai se tornando mais uniforme (PB50 aumenta), até o 4º ano, quando provavelmente devido ao fechamento da copa e início da maior competição entre os indivíduos, aumenta a heterogeneidade no povoamento (redução do PB50), confirmando as observações de Binkley et al. (2002). Assim, como esperado, os locais menos produtivos possuíam o PB50 menor em relação à Três Barras, evidenciando que os locais mais produtivos tendem a ter maior uniformidade do povoamento. Estudos similares com clones de eucalipto demonstraram que os sítios

mais uniformes, tiveram aumento de 13% em sua produtividades comparativamente à sítios com alta heterogeneidade (RYAN, et al., 2010; STAPE et al., 2010).

Aqui, no entanto, a região mais produtiva possui também material genético com maior grau de melhoramento, confundindo os efeitos silviculturais e genéticos, impossibilitando saber se verdadeira causa da maior uniformidade.

A partir destes resultados, foi possível conhecer os principais fatores que afetam o crescimento do *Pinus taeda*, sendo que os próximos passos seriam entender a eficiência de uso dos recursos e quantificar estes fatores para a tomada de decisão em relação ao material genético, à programas de fertilização e mato-competição, à qualidade das práticas silviculturais e zoneamento edafoclimático identificando as melhores regiões para compra de terras.

5 CONCLUSÕES

Com base no estudo de 24 parcelas de *Pinus taeda* sem desbaste localizadas num gradiente geográfico nos Estados do Paraná e em Santa Catarina, em que conjugaram-se as técnicas de inventário tradicional, análise de tronco e densitometria de raios X para caracterizar o crescimento e associá-lo às variáveis edafo-climáticas locais, foi possível concluir que:

- Houve ampla variação de produtividade do *Pinus taeda* no sul do Brasil, com Incrementos Médios Anuais, aos nove anos de idade, variando de 15 a 35 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, 6,2 a 14,5 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, e índice de sítio (idade base 10 anos) de 12 a 20 m;

- Os incrementos médios anuais, em volume e massa, com e sem casca, foram altamente correlacionados com o índice de sítio (IS₁₀) nestes povoamentos (densidade média de 1450 árvores/ha);

- O IS₁₀ foi positivamente correlacionado com os teores de nitrogênio, e da variável combinada nitrogênio x fósforo, e negativamente correlacionado com o déficit hídrico, evidenciando que os solos, em termos nutricionais e de armazenamento hídrico, influenciam a produtividade do *P. taeda* no sul do país;

- A região de Três Barras SC, foi a de maior produtividade comparativamente às demais, possuindo os maiores teores de nitrogênio, menores déficits hídricos, e temperaturas mínimas mais amenas;

- Os padrões de crescimento mostraram que até o 5^o ano não foi possível a discriminação dos sítios quanto à produtividade obtida aos 9 anos, quando todos os sítios ainda não haviam culminado seu incremento média anual;

- As florestas mais produtivas, e com materiais de maior grau de melhoramento, mostraram-se mais uniformes, e esta uniformidade atingiu um pico aos 4 anos, e declinando após esta idade;

- Os métodos da análise do tronco e densitometria de raio X se mostraram como técnicas eficazes para avaliar os padrões de crescimento de áreas não inventariadas de *P.taeda* no sul do país e correlacioná-los com o meio físico; e

- Há provável potencial de aumento da produtividade do *P.taeda* no sul da país via manejo nutricional (fertilização), escolha de sítios mais aptos (regime hídrico e térmico), e melhoramento genético, sendo necessários ensaios experimentais específicos.

Assim, retomando as hipóteses formuladas, temos:

- i. A produtividade do *Pinus taeda* estará positivamente associada aos solos de maior fertilidade, notadamente com maiores teores de nitrogênio e fósforo: **Corroborada;**
- ii. A produtividade do *Pinus taeda* estará positivamente associada aos sítios com regimes hídricos mais favoráveis ao crescimento da espécie, com temperaturas mais amenas e menores déficit hídricos: **Corroborada;**
- iii. As árvores tenderão a ser mais uniformes nos sítios de maior produtividade e esta uniformidade tenderá a diminuir com a idade: **Corroborada.**

REFERÊNCIAS

- ALBAUGH, T.J.; ALLEN, H. L.; FOX, T. R. Individual tree crown and stand development in *Pinus taeda* under different fertilization and irrigation regimes. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 234, p. 10-23, 2006.
- ALBAUGH, T.J.; ALLEN, H. L.; DOUGHERTY, P.M.; JOHNSON, K.H. Long term growth responses of loblolly pine to optimal nutrient and water resource availability. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 192, p. 3-19, 2004.
- ALBAUGH, T.J.; ALLEN, H.; DOUGHERTY, P.; KRESS, L.; KING, J. Leaf area and above- and belowground growth responses of loblolly pine to nutrient and water additions. **Forest Science**, Bethesda, v. 44, n. 2, p. 317-328, 1998.
- ALBAUGH, J.M.; BLEVINS, L; ALLEN, H. L.; ALBAUGH, T.J.; FOX, T.R.; STAPE, J.L.; RUBILAR, R.A. Characterization of foliar macro and micronutrient concentrations and ratios in loblolly pine plantations in the southeastern United States. **South Journal Applied Forest**, v. 34, n. 2, p. 53-64, 2010.
- ALLEN, H.L.; ALBAUGH, T.J. Ecophysiological basis for plantation production: A loblolly pine case study. **Bosque**, Valdivia, v. 20, n. 1, p. 3-8, 1999.
- AMISHEV, D.; FOX, T.R. The effect of weed control and fertilization on survival and growth of four pine species in the Virginia Piedmont. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam , v. 236, p. 96-101, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF 2010 ano base 2009**. Brasília, 2010. 140 p.
- BALLARIN, A.W.; PALMA, H.A.L. Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 371-380, 2003.
- BALLONI, E.A. **Efeitos da fertilização mineral sobre o desenvolvimento do *Pinus caribaea* Morelet var. *bahamensis* (Griseb) Barret e Golfari em solo de cerrado do estado de São Paulo**. 1984. 110 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1984.
- BENDTSEN, B.A.; SENFT, J. Mechanical and anatomical properties in individual growth rings of plantation-grown eastern cottonwood and loblolly pine. **Wood and Fiber Science**, Washington, v. 18, n. 1, p. 23-38, 1986.
- BENSON, M.; MYERS, B.; RAISON, R. Dynamics of stem growth of *Pinus radiata* as affected by water and nitrogen supply. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 52, p. 117-137, 1992.

BERNI, C.A.; BOLZA, E.; CHRISTENSEN, F.J. **South American timbers, the properties, uses and characteristics of 190 species**. Melbourne: CSIRO, Division of Building Research, 1979. 241 p.

BERTOLOTI, G.; SIMÕES, J.; NICOLIELO, N.; GARNICA, J. Efeitos de diferentes métodos e intensidades de desbaste na produtividade de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf. **IPEF**, Piracicaba, n. 24, p. 47-54. ago. 1983.

BILA, J. **Classificação de sítios com base em fatores edáficos para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* na região de Prata, Minas Gerais**. 2010. 77 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

BINKLEY, D.; STAPE, J.L.; BAUERLE, W.L.; RYAN, M.G. Explaining growth of individual trees: Light interception and efficiency of light use by *Eucalyptus* at four sites in Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, n.9, p. 1704-1713, apr. 2010.

BINKLEY, D.; STAPE, J.L.; RYAN, M.G.; BARNARD, H.; FOWNES, J. Age-related decline in forest ecosystem growth: An individual-tree, stand-structure hypothesis. **Ecosystems**, New York, v. 5, p. 58-67, 2002.

BINKLEY, D.; STAPE, J.L. Sustainable management of *Eucalyptus* plantations in a changing world. In: IUFRO CONFERENCE, Aveiro, 2004. ***Eucalyptus in a changing world***. Aveiro: IUFRO, 2004. p. 11-15.

BINKLEY, D.; STAPE, J.L.; RYAN, M.G. Thinking about efficiency of resource use in forests. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 193, p. 5-16, 2004.

BIZON, J.M.C. **Avaliação da sustentabilidade nutricional de plantio de *Pinus taeda* L. usando um balanço de entrada-saída de nutrientes**. 2005. 95 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2005.

BLAKE, T.J.; TSCHAPLINSKI, T.J. Water relations. In: MITCHELL, C.P.; FORD-ROBERTSON, J.B.; HINCKLEY, T.; SENNERBY-FORSSE, L. **Ecophysiology of short rotation forest crops**. London: Elsevier Applied Science, 1992. chap. 3, p. 66-94.

BOGNOLA, I.; DEDECEK, R.; LAVORANTI, O.; HIGA, A.R. Influência de propriedades físico-hídricas do solo no crescimento de *Pinus taeda*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, n. 61, p. 37-49, 2010.

BOYDEN, S.; BINKLEY, D.; SENOCK, R. Competition and facilitation between *Eucalyptus* and nitrogen-fixing *Falcataria* in relation to soil fertility. **Ecology**, Brooklin, v. 86, n. 4, p. 992-1001, 2005

BOYDEN, S.; BINKLEY, D.; STAPE, J.L. Competition among Eucalyptus trees depends on genetic variation and resource supply. **Ecology**, Brooklin, v. 89, n. 10, p. 2850-2859, 2008.

BOYLE, T.J.B.; COSSALTER, C.; GRIFFIN, A.R. Genetic resources for plantation forestry. In: NAMBIAR, E.K.S.; BROWN, A.G. **Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests**. Canberra: ACIAR, 1997. chap. 2, p. 25-63.

CAMPOS, J.; LEITE, H. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2006. 470 p.

CARVALHO, A.P.; MENEGOL, O.; OLIVEIRA, E.B.; MACHADO, S.A.; POTTER, R.; FASOLO, P.J.; FERREIRA, C.A.; BARTOSZECK, A. Efeitos de características do solo sobre a capacidade produtiva de *Pinus taeda*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 39, p. 51-66, 1999.

CLANCY, K.; WAGNER, M.; REICH, P. Ecophysiology and insect herbivory. In: SMITH, W.; HINCKLEY, T. **Ecophysiology of coniferous forests**. California: Academic Press, 1995. chap. 6, p. 125-180.

COBB, W.; WILL, R.; DANIELS, R.; JACOBSON, M. Aboveground biomass and nitrogen in four short-rotation woody crop species growing with different water and nutrient availabilities. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, p. 4032-4039, 2008.

CORREA, E. Dendrocronología, buscando las edades del arbol tropical. **Revista El Mueble e y la Madera**, Bogotá, v. 41, cap. 11, p. 65-69, 2003. Disponível em: <<http://www.revista-mm.com/ediciones/rev41/art11.htm>>. Acesso em: 22 nov. 2010.

DEDECEK, R.A.; FIER, I.S.N.; SPELTZ, R.; LIMA, L.C.S. Influência do sítio no desenvolvimento do *Pinus taeda* aos 22 anos: 1. Características físico-hídricas e químicas do solo. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 3, p. 507-516, jul./set. 2008.

ELESBÃO, L. **Crescimento e produção de Pinus taeda L. na região dos campos de Cima da Serra, Rio Grande do Sul**. 2008. 73 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

FERREIRA, A.T.B. **Caracterização da estrutura anatômica do lenho, dos anéis de crescimento e dos canais de resina de árvores de Pinus caribaea var. hondurensis Barr. et Golf**. 2009. 83 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

FERREIRA, C.; SILVA, H. D.; REISSMANN, C.; BELLOTE, A.; MARQUES, R. **Nutrição de Pinus no sul do Brasil: diagnóstico e prioridades de pesquisa**. Colombo: Embrapa Florestas, 2001. 23p.

FISHER, R.; BINKLEY, D. **Ecology and management of forest soils**. 3rd ed. New York: John Wiley, 2000. 489 p.

FLORSHEIM, S.M.B. **Curvas de isopropriedades da madeira em árvores de *Pinus caribaea* var. *bahamensis***. 2010. 225 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

GONÇALVES, J.L.M. Principais solos usados para plantações florestais. In: GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. cap. 1, p. 1-46.

GONÇALVES, J.L.M.; DEMATTÊ, J.; COUTO, H. Relações entre a produtividade de sitios florestais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* com as propriedades de alguns solos de textura arenosa e média no Estado de São Paulo. **IPEF**, Piracicaba, n. 43/44, p. 24-39, 1990.

GONÇALVES, J.L.M.; MENDES, K.C.F.S.; SASAKI, C.M. Mineralização de nitrogênio em ecossistemas florestais naturais e implantados do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 601-616, 2001.

GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L.; LACLAU, J.P.; SMETHURST, P.; GAVA, J.L. Silvicultural effects on the productivity and wood quality of eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 193, p. 45-61, 2004.

GONZALEZ-BENECKE, C.; MARTIN, T. Water availability and genetic effects on water relations of loblolly (*Pinus taeda*) stand. **Tree Physiology**, Victoria, v. 30, p. 376-392, Jan. 2010.

GOLFARY, L. **Conifers suitable for reforestation os the states of Parana, Santa Catarina and Rio Grande do Sul**. Rome: FAO, 1970. 86 p.

GUIMARÃES, L.D.; RESENDE, M.D.; LAU, D.; ROSSE, L.; ALVES, A.; ALFENAS, A. Genetic control of *Eucalyptus urophylla* and *E. grandis* resistance to canker caused by *Chrysosporthe cubensis*. **Genetics and Molecular Biology**, Riberão Preto, v. 33, n. 3, p. 525-531, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapas Interativos**, Clima, 2005. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/clima/viewer.htm>>. Acesso em: 20 jan. 2011.

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS. Disponível em: <www.ipef.br/pppib>. Acesso em: 15 julho 2010.

JOHNSON, J. Dry-matter partitioning in loblolly and slash pine: effects of fertilization and irrigation. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 30, p. 147-157, 1990.

JOKELA, E.; MARTIN, T.; VOGEL, J. Twenty-five years of intensive forest management with southern pines: important lessons learned. **Journal of Forestry**, Bethesda, v. 108, n. 7, p. 338-347, 2010.

KING, N.; SEILER, J.; FOX, T.; JOHNSEN, K. Post-fertilization physiology and growth performance of loblolly pine clones. **Tree Physiology**, Victoria, v. 28, p. 703-711, 2008

KITZBERGER, T.; VEBLEN, T.T.; VILLALBA, R. Métodos dendroecológicos y sus aplicaciones en estudios de dinámica de bosques templados de Sudamérica. In: ROIG, F.A. **Dendrocronología en América Latina**. Mendoza: EIUNC, 2000. p. 17-78.

KRONKA, F.J.N.; BERTOLANI, F.; HERRERA PONCE, R. **A cultura do Pinus no Brasil**. São Paulo: SBS, 2005. 160 p.

LAMBERS, H.; CHAPIN III, F.; PONS, T. **Plant physiological ecology**. 2nd ed. New York: Springer, 2008. chap. 2, p. 11-25.

LANDSBERG, J.J. **Physiological ecology of forest production**. London: Academic Press, 1986. 198 p.

_____. Physiology in forest models: history and the future. **Forest Biometry, Modelling and Information Sciences**, London , v. 1, p. 49-63, 2003.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA, 2006. 531 p.

LATORRACA, J.V.F.; ALBUQUERQUE, C.E.C. de. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 7, n. 1, p. 279-291, jan./dez. 2000.

LEPAGE, E.S.; OLIVEIRA, A.M.F.; LELIS, A.T.; CARBALLEIRA LOPEZ, G.A.; CHIMELO, J.P.; OLIVEIRA, L.C.S.; CAÑEDO, M.D.; CAVALCANTE, M.S.; LELO, P.K.Y.; ZANOTTO, P. Anatomia da madeira. In: _____. **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT; SICCT, 1986. v. 2. cap. 3, p. 45-50.

LINCOLN, M.; WIL, R.; MORRIS, L.; CARTER, E. Soil change and loblolly pine (*Pinus taeda*) seedling growth following site preparation tillage in the Upper Coastal Plain of the southeastern United States. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 242, p. 558-568, 2007.

LOO, J.A.; TAUER, C.G.; MCNEW, R.W. Genetic variation in the time of transition from juvenile to mature wood in loblolly pine. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 34, n. 1, p. 14-19, 1985.

MARIA, V.R.B. **Estudo da periodicidade do crescimento, fenologia e relação com atividade cambial de espécies arbóreas tropicais de florestas estacionais semidecíduais**. 2002. 126 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

MARTO, G.B.T. Indicações para a escolha da espécie de *Pinus*. **Revista da Madeira**, abr. 2009. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/artigos_tecnicos.php?busca=Indicações%20para%20esc olha%20Pinus>. Acesso em: 18 nov. 2010.

McGARVEY, R.; MARTIN, T.; WHITE, T. Integrating within-crown variation in net photosynthesis in loblolly and slash pine families. **Tree Physiology**, Victoria, v. 24, p. 1209-1220, 2004.

McKEAND, S.; JOKELA, E.; HUBER, D.; BYRAM, T.; ALLEN, H.; LI, B.; MULLIN, T.J. Performance of improved genotypes of loblolly pine across different soils, climates, and silvicultural inputs. **Forest and Ecology Management**, Amsterdam, v. 227, p. 178–184, 2006.

McTAGUE, J.P. **Growth and yield of slash and loblolly pine in the state of Santa Catarina, Brazil**. 1985. 219 p. Thesis (PhD) – University of Georgia, Athens, 1985.

MACHADO, S.A. **Studies in growth and yield estimation for *Pinus taeda* L. plantations in the state of Parana – Brazil**. 1978. 170 p. Thesis (PhD) – University of Washington, Washington, 1978.

MURTHY, R.; DOUGHERTY, P.; ZARNOCH, S.; ALLEN, H. Effects of carbon dioxide, fertilization, and irrigation on photosynthetic capacity of loblolly pine trees. **Tree Physiology**, Victoria, v. 16, p. 537-546, 1996.

NEARY, D.; ROCKWOOD, D.; COMERFORD, N.; SWINDEL, B. Importance of weed control, fertilization, irrigation, and genetics in slash and loblolly pine early growth on poorly drained spodosols. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 30, p. 271-281, 1990.

NEVES, J.C.L. **Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e híbridos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo**. 2000. 191 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Planta) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2000.

QUESADA, T.; GOPAL, V.; CUMBIE, W.; ECKERT, A.; WEGRZYN, J.; NEALE, D.; GOLDFARB, F.; HUBER, A.D.; CASELLA, G.; DAVIS, J.M. **Association mapping of quantitative disease resistance in a natural population of loblolly pine (*Pinus taeda* L.)**. Genetics, 2010. Disponível em: <<http://www.genetics.org/cgi/content/abstract/genetics.110.117549v1>>. Acesso em: 29 nov. 2010.

PAIM, R.M. **Efeito da aplicação de lama de cal e cloreto de potássio sobre as variáveis químicas e biológicas do solo, estado nutricional e crescimento do *Pinus taeda* L. sobre latossolo em Três Barras, SC.** 2007. 123 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

QUINTEK MEASUREMENT SYSTEMS. **QMS tree ring analyzer model QTRS-01X: users guide.** Knoxville, 1999.

REISSMANN, C.B.; WISNEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de *Pinus*. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal.** Piracicaba: IPEF, 2005. cap. 5, p. 135-165.

REISSMANN, C.B.; ZOTTLE, H. Problemas nutricionais em povoamentos de *Pinus taeda* em áreas do arenito da formação Rio Bonito-Grupo Guatá. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 9, n. 1/2, p. 75-80, 1987.

REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLO E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA, 3., Rio de Janeiro, 1988. **Anais...** Rio de Janeiro: Embrapa Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1988. 425 p.

RIGATTO, P.; DEDECEK, R.; MATTOS, J. Influência dos atributos do solo sobre a qualidade da madeira de *Pinus taeda* para produção de celulose kraft. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 267-73, 2004.

_____. Influência dos atributos do solo sobre a produtividade de *Pinus taeda*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 701-709, 2005.

ROLIM, G.S.; SENTELHAS, P.C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL™ para os cálculos de balanços hídricos: normal, seqüencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 133-137, 1998.

ROLIM, M.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira produzida pela *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze em função dos anéis de crescimento. **IPEF**, Piracicaba, n. 9, p. 46-55, 1974.

RUNDEL, P.; YODER, B. Ecophysiology of *Pinus*. In: RICHARDSON, D. **Ecology and biogeography of *Pinus***. Cambridge: Cambridge University Press, 1998. chap. 15, p. 296-323.

RYAN, M.G.; STAPE, J.L.; BINKLEY, D.; FONSECA, S.; LOOS, R.A.; TAKAHASHI, E.N.; SILVA, C.R.; SILVA, S.R.; HAKAMADA, R.E.; FERREIRA, J.M.; LIMA, A.M.N.;

- GAVA, J.L.; LEITE, F.P.; ANDRADE, H.B.; ALVES, J.M.; SILVA, G.G.C. Factors controlling *Eucalyptus* productivity: how water availability and stand structure alter production and carbon allocation. **Forest and Ecology Management**, Amsterdam, v. 259, n. 9, p. 1695-1703, Apr. 2010.
- SAMUELSON, L.; JOHNSEN, K.; STOKES, T. Production, allocation, and stemwood growth efficiency of *Pinus taeda* L. stands in response to 6 years of intensive management. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 192, p. 59-70, 2004.
- SAMUELSON, L.; JOHNSEN, K.; STOKES, T.; WEINLANG, L. Intensive management modifies soil CO₂ efflux in 6-year-old *Pinus taeda* L. stands. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 200, p. 335-345, 2004.
- SANDS, R.; MULLIGAN, D. Water and nutrient dynamics and tree growth. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 30, p. 91-111, 1990.
- 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**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 85-93, 2000.
- SANTOS FILHO, A.; LASO, L.; REISSMANN, C.; MACHADO, S. Desenvolvimento do *Pinus taeda* L. em função das características dos solos em Telêmaco Borba - PR. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v.12, n. 1/2, p. 13-24, 1992/1993.
- SCHLEPPI, P.; CONEDERA, M.; SEDIVY, I.; THIMONIER, A. Correcting non-linearity and slope effects in the estimation of the leaf area index of forests from hemispherical photographs. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 144, p. 236–242, 2007.
- SCHULTZ, R.P. **Loblolly pine: the ecology and culture of Loblolly pine (*Pinus taeda* L.)**. New Orleans: USDA, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, 1997. 493p.
- _____. Loblolly – the pine for the twenty century. **New Forests**, Amsterdam, v.17, p. 71-88, 1999.
- SCHUMACHER, M.; VIEIRA, M.; WITSCHORECK, R. Produção de serapilheira e transferência de nutrientes em área de segunda rotação com floresta de *Pinus taeda* L. no município de Cambará do Sul, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 4, p. 471-480, 2008.
- SELLE, G. **Influência de fatores ambientais na classificação de sítio para *Pinus taeda* L., na região de Cambará do Sul, RS, Brasil**. 1993. 64 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1993.

SELLE, G.; SCHNEIDER, P.; FINGER, C. Classificação de sítio para *Pinus taeda* L., através da altura dominante, para a região de cambará do sul, RS, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 77-95, 1994.

SHIMIZU, J.Y. *Pinus* na silvicultura brasileira. **Revista da Madeira**, 2006. Disponível em:
<http://www.remade.com.br/br/artigos_tecnicos.php?sub=65&categoria=Espécies&subcategoria=Pinus>. Acesso em: 17 nov. 2010.

_____. Cultivo do *Pinus*. **Embrapa Florestas, Sistemas de Produção**, nov. 2005. Disponível em:
<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus/03_2_pinus_taeda.htm>. Acesso em: 17 nov. 2010.

SIQUEIRA, K.P. **Variabilidade da massa específica de *Pinus taeda* L. em diferentes classes de sítio**. 2004. 43 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

SNOWDON, P.; BENSON, M. Effects of combinations of irrigation and fertilisation on growth and above-ground biomass production of *Pinus radiata*. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 52, p. 87-116, 1992.

STAPE, J.L. Production ecology of clonal *Eucalyptus* plantations in northeastern Brazil. 2002. 225 p. Thesis (PhD) - Colorado State, Fort Collins. 2002.

STAPE, J.L.; ANDRADE, S.C.; GOMES, A.N.; KREJCI, L.C.; RIBEIRO, J.A.C.L. Definição de métodos de preparo de solo para silvicultura em solos coesos do litoral norte da Bahia. In: GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. p. 259-296.

STAPE, J.L.; BINKLEY, D.; RYAN, M.G. *Eucalyptus* production and the supply, use and efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 193, p. 17-31, 2004.

_____. Production and carbon allocation in a clonal *Eucalyptus* plantation with water and nutrient manipulations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, p. 920-930, 2008.

STAPE, J.L., ROCHA, J.C.; DONATTI, Z.A. Indicadores de qualidade silvicultural na Aracruz: 2000 a 2005. **Relatório Técnico IPEF**, Piracicaba, 2006.

STAPE, J.; BINKLEY, D.; RYAN, M.; GOMES, A.N. Water use, water limitation, and water use efficiency in a *Eucalyptus* plantation. **Bosque**, Valdivia, v. 25, n. 2, p. 35-41, 2004.

STAPE, J.; BINKLEY, D.; RYAN, M.; FONSECA, S.; LOOS, R.A.; TAKAHASHI, E.N.; SILVA, C.R.; SILVA, S.R.; HAKAMADA, R.E.; FERREIRA, J.M.; LIMA, A.M.N.; GAVA, J.L.; LEITE, F.P.; ANDRADE, H.B.; ALVES, J.M.; SILVA, G.G.C; AZEVEDO, M.R. The Brazil eucalyptus potential project: influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest and Ecology Management**, Amsterdam, v. 259, n. 9, p. 1684-1694, Apr. 2010.

STETTLER, R.F.; BRADSHAW Jr., H.D.; ZSUFFA, L. The role of genetic improvement in short rotation forestry. In: MITCHELL, C.P.; FORD-ROBERTSON, J.B.; HINCKLEY, T.; SENNERBY-FORSSE, L. **Ecophysiology of short rotation forest crops**. London: Elsevier Applied Science, 1992. chap. 11, p. 285-308.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TESKEY, R.; BONGARTEN, B.; CREGG, B.; DOUGHERTY, P.; HENNESSEY, T. Physiology and genetics of tree growth response to moisture and temperature stress: an examination of the characteristics of loblolly pine (*Pinus taeda* L.). **Tree Physiology**, Victoria, Canada , v. 3, p. 41-61, 1987.

TIARKS, A.; HAYWOOD, J. *Pinus taeda* responses to fertilization, herbaceous plant control and woody plant control. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam , v. 14, p. 103-112, 1986.

TIBAU, A. **Matéria orgânica e fertilidade do solo**. 2. ed. São Paulo: Nobel, 1984. 220 p.

TOMAZELLI, I. Comparação da qualidade da madeira de *Araucaria angustifolia*, e *Pinus* spp preoduzida em reflorestamentos. In: IUFRO MEETING ON FORESTRY PROBLEMS OF THE GENUS ARAUCARIA, 1979, Curitiba. Curitiba: IUFRO, 1979. p. 286-291.

TOMAZELLO FILHO, M.; LISI, C.S.; HANSEN, N.; CURY, G. Características anatômicas das zonas de incremento do lenho de diferentes espécies arbóreas do Estado de São Paulo, Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 66, p. 46-55, dez. 2004.

TONINI, H.; FINGER, C.; SCHNEIDER, P.; SPATHELF, P. Comparação gráfica entre curvas de índice de sítio para *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* desenvolvidas no sul do Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 143-153, 2002.

TROVATI, L.R. **Resposta da densidade dos anéis de crescimento de *Pinus oocarpa* aos fatores climáticos**. 1982. 107 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1982.

VOGEL, H.; SCHUMACHER, M.; STORCK, L.; WITSCHORECK, R. Crescimento inicial de *Pinus taeda* L. relacionados a doses de N, P e K. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 199-206, 2005

VOIGTLAENDER, M. **Caracterização hidrológica e biogeoquímica de microbacias: uma comparação entre Mata Atlântica e *Pinus taeda* L.** 2007. 76 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

XAVIER, A.; SANFUENTES, E.; JUNGHANS, D.; ALFENAS, A.C. Resistência de *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus nitens* à ferrugem (*Puccinia psidii*). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 731-735, 2007.

WATERWORTH, R.; RAISON, R.; BRACK, C.; BENSON, M. Effects of irrigation and N fertilization on growth and structure of *Pinus radiata* stands between 10 and 29 years of age. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 239, p. 169–181, 2007.

WILL, R.; MARKEWITZ, D.; HENDRICK, R.; MEASON, D.; CROCKER, T.; BORDERS, B. Nitrogen and phosphorus dynamics for 13-year-old loblolly pine stands receiving complete competition control and annual N fertilizer. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 227, p. 155–168, 2006.

WILLIAMS, T.; GRESHAM, C. Biomass accumulation in rapidly growing loblolly pine and sweetgum. **Biomass and Bioenergy**, Arizona, v. 30, p. 370–377, 2006.

WOOD handbook: wood as an engineering material. Madison: USDA, Forest Products Laboratory, 1999. 463 p. Disponível em: <http://www.woodweb.com/knowledge_base/Wood_Handbook.html>. Acesso em: 20 nov. 2010.

ZERPA, J.; ALLEN, H.; CAMPBELL, R.; PHELAN, J.; DUZAN, H. Influence of variable organic matter retention on nutrient availability in a 10-year-old loblolly pine plantation. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, p. 1480-1489, 2010.

ZIMMERMANN, M.H.; BROWN, C.L. **Trees: structure and function**. Berlin: Springer-Verlag, 1971. 336 p.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Dados das árvores dominantes cubadas com os respectivos volumes com casca (Vc) e sem casca (Vs) por Smalian e porcentagem de casca da árvore

Região	Parcela	Arv	Idade	DAP	Htotal	Vc	Vs	Casca
-	#	#		(cm)	(m)	(m ³)		%
JGR	2	1	9	21,74	12,16	0,216	0,175	0,19
JGR	2	2	9	22,12	13,17	0,247	0,198	0,20
JGR	4	1	9	21,33	12,70	0,205	0,161	0,22
JGR	4	2	9	21,33	11,55	0,193	0,151	0,22
JGR	10	1	9	26,71	15,13	0,388	0,326	0,16
JGR	10	2	9	26,74	15,50	0,388	0,324	0,17
JGR	14	1	9	31,19	16,80	0,550	0,456	0,17
JGR	14	2	9	26,67	15,90	0,380	0,319	0,16
JGR	15	1	9	27,69	15,30	0,406	0,325	0,20
JGR	15	2	9	29,60	14,60	0,424	0,335	0,21
JGR	6	1	9	27,06	13,13	0,330	0,273	0,17
JGR	6	2	9	26,90	14,80	0,386	0,325	0,16
PTG	7	1	8	25,78	16,40	0,399	0,339	0,15
PTG	7	2	8	25,81	13,90	0,330	0,274	0,17
PTG	12	1	8	23,71	14,05	0,298	0,246	0,17
PTG	12	2	8	24,35	14,80	0,310	0,276	0,11
PTG	1	1	8	20,37	12,40	0,209	0,171	0,18
PTG	1	2	8	21,96	12,90	0,243	0,195	0,20
PTG	3	1	8	22,28	13,30	0,254	0,200	0,21
PTG	3	2	8	23,40	13,84	0,255	0,201	0,21
RNG	5	1	9	23,24	15,00	0,300	0,258	0,14
RNG	5	2	9	23,87	12,80	0,271	0,224	0,17
RNG	8	1	9	23,24	12,50	0,219	0,173	0,21
RNG	8	2	9	24,19	15,10	0,314	0,275	0,13
RNG	13	1	9	25,46	15,70	0,399	0,352	0,12
RNG	13	2	9	26,42	17,00	0,401	0,348	0,13
RNG	9	1	9	24,51	16,25	0,339	0,292	0,14
RNG	9	2	9	26,10	14,55	0,337	0,280	0,17
RNG	11	1	9	26,10	15,82	0,380	0,325	0,14
RNG	11	2	9	25,46	14,20	0,354	0,314	0,11

APÊNDICE B – Dados de massa específica aparente média (Me) a 12% de umidade

(continua)

Região	Parcela	Anel	Me (g cm ⁻³)	Região	Parcela	Anel	Me (g cm ⁻³)
JGR	2	1	0,408	JGR	15	3	0,425
JGR	2	2	0,419	JGR	15	4	0,425
JGR	2	3	0,426	JGR	15	5	0,441
JGR	2	4	0,433	JGR	15	6	0,451
JGR	2	5	0,454	JGR	15	7	0,462
JGR	2	6	0,468	JGR	15	8	0,467
JGR	2	7	0,491	JGR	15	9	0,469
JGR	2	8	0,502	PTG	1	1	0,421
JGR	2	9	0,509	PTG	1	2	0,418
JGR	4	1	0,405	PTG	1	3	0,409
JGR	4	2	0,406	PTG	1	4	0,441
JGR	4	3	0,434	PTG	1	5	0,450
JGR	4	4	0,441	PTG	1	6	0,458
JGR	4	5	0,457	PTG	1	7	0,469
JGR	4	6	0,460	PTG	1	8	0,473
JGR	4	7	0,477	PTG	1	9	0,456
JGR	4	8	0,486	PTG	3	1	0,394
JGR	4	9	0,491	PTG	3	2	0,415
JGR	6	1	0,410	PTG	3	3	0,412
JGR	6	2	0,382	PTG	3	4	0,420
JGR	6	3	0,390	PTG	3	5	0,426
JGR	6	4	0,382	PTG	3	6	0,449
JGR	6	5	0,396	PTG	3	7	0,462
JGR	6	6	0,402	PTG	3	8	0,468
JGR	6	7	0,422	PTG	7	1	0,373
JGR	6	8	0,429	PTG	7	2	0,361
JGR	6	9	0,429	PTG	7	3	0,375
JGR	10	1	0,405	PTG	7	4	0,384
JGR	10	2	0,404	PTG	7	5	0,385
JGR	10	3	0,423	PTG	7	6	0,398
JGR	10	4	0,432	PTG	7	7	0,413
JGR	10	5	0,444	PTG	7	8	0,423
JGR	10	6	0,442	PTG	12	1	0,449
JGR	10	7	0,456	PTG	12	2	0,463
JGR	10	8	0,468	PTG	12	3	0,459
JGR	10	9	0,479	PTG	12	4	0,460
JGR	14	1	0,432	PTG	12	5	0,456
JGR	14	2	0,441	PTG	12	6	0,470
JGR	14	3	0,437	PTG	12	7	0,482
JGR	14	4	0,441	PTG	12	8	0,485
JGR	14	5	0,462	RNG	5	1	0,401
JGR	14	6	0,467	RNG	5	2	0,406
JGR	14	7	0,480	RNG	5	3	0,399
JGR	14	8	0,484	RNG	5	4	0,422
JGR	14	9	0,486	RNG	5	5	0,437
JGR	15	1	0,388	RNG	5	6	0,442
JGR	15	2	0,449	RNG	5	7	0,457

APÊNDICE B – Dados de massa específica aparente média (Me) a 12% de umidade

(conclusão)

Região	Parcela	Anel	Me (g cm ⁻³)
RNG	5	8	0,468
RNG	5	9	0,469
RNG	8	1	0,450
RNG	8	2	0,462
RNG	8	3	0,460
RNG	8	4	0,468
RNG	8	5	0,462
RNG	8	6	0,474
RNG	8	7	0,477
RNG	8	8	0,481
RNG	9	1	0,395
RNG	9	2	0,437
RNG	9	3	0,427
RNG	9	4	0,432
RNG	9	5	0,431
RNG	9	6	0,431
RNG	9	7	0,443
RNG	9	8	0,441
RNG	9	9	0,442
RNG	11	1	0,401
RNG	11	2	0,398
RNG	11	3	0,405
RNG	11	4	0,422
RNG	11	5	0,437
RNG	11	6	0,438
RNG	11	7	0,455
RNG	11	8	0,458
RNG	11	9	0,460
RNG	13	1	0,405
RNG	13	2	0,415
RNG	13	3	0,418
RNG	13	4	0,420
RNG	13	5	0,435
RNG	13	6	0,447
RNG	13	7	0,468
RNG	13	8	0,473
RNG	13	9	0,484

APÊNDICE C – Diâmetro à altura do peito (DAP) médio (cm)

Região	Parcela	Idade (ano)							
		2	3	4	5	6	7	8	9
JGR	2	3,0	6,4	9,0	10,7	12,0	12,8	13,3	15,1
	4	2,7	6,2	9,3	11,5	13,0	13,7	14,4	15,2
	6	2,7	6,2	9,6	12,0	14,1	15,5	16,6	17,5
	10	5,6	8,8	11,4	13,3	14,6	15,4	15,9	16,5
	14	2,0	6,2	9,6	12,4	14,6	16,4	17,8	21,2
	15	2,0	6,1	10,5	13,6	15,6	17,2	18,4	19,6
PTG	1	1,9	5,3	8,8	11,6	13,4	14,4	15,5	15,5
	3	2,5	6,2	10,0	12,1	13,5	14,5	15,5	16,0
	7	2,7	7,1	10,9	13,8	16,2	17,8	19,1	19,7
	12	4,6	8,6	12,1	14,4	16,2	17,6	18,7	19,6
RNG	5	2,9	6,0	8,5	11,2	13,0	14,3	15,7	16,9
	8	6,0	9,2	12,2	14,1	15,3	16,3	17,0	17,6
	9	2,1	5,6	8,9	12,2	14,0	15,2	16,3	17,3
	11	2,3	6,0	9,3	12,3	14,1	16,0	17,3	18,1
	13	3,0	6,6	9,7	12,5	14,4	15,9	17,1	18,1
TRB	16	2,1	6,1	9,8	12,3	14,3	16,2	17,2	18,1
	17	2,1	6,3	10,5	13,5	15,5	17,0	17,9	18,7
	18	2,5	6,8	11,1	13,7	15,9	17,6	18,6	19,6
	19	2,3	6,8	10,9	13,5	15,2	16,5	17,2	17,9
	20	2,2	7,2	11,0	13,9	15,6	16,5	17,5	18,3
	21	2,1	6,8	10,1	12,9	14,7	15,9	17,0	18,0
	22	2,7	7,5	10,9	13,8	15,8	17,0	18,1	18,8
	23	1,9	6,4	9,8	12,9	15,3	16,7	17,8	18,7
	24	1,5	6,3	9,8	12,7	14,7	16,1	17,4	18,4

APÊNDICE D – Altura dominante (m)

Região	Parcela	Idade (ano)							
		2	3	4	5	6	7	8	9
JGR	2	2,9	5,3	7,3	8,7	9,9	10,8	11,5	12,1
	4	2,8	5,2	7,0	8,5	9,6	10,5	11,3	11,9
	6	1,8	4,1	6,3	8,1	9,5	10,8	11,8	12,7
	10	4,2	7,3	9,5	11,2	12,5	13,5	14,4	15,0
	14	1,8	4,6	7,3	9,6	11,6	13,2	14,6	15,8
	15	1,9	4,5	6,8	8,7	10,3	11,6	12,7	13,6
PTG	1	4,1	6,7	8,6	9,9	10,9	11,7	12,4	12,9
	3	3,7	6,4	8,5	10,1	11,3	12,2	13,0	13,6
	7	3,3	6,2	8,5	10,2	11,6	12,7	13,6	14,3
	12	3,1	6,1	8,5	10,3	11,8	13,0	13,9	14,7
RNG	5	2,3	5,0	7,3	9,2	10,7	11,9	12,9	13,8
	8	3,1	5,8	8,0	9,7	11,0	12,0	12,8	13,5
	9	2,3	5,1	7,6	9,6	11,2	12,6	13,7	14,6
	11	2,5	5,3	7,6	9,5	11,0	12,3	13,3	14,1
	13	2,1	5,0	7,8	10,1	12,0	13,6	14,9	16,1
TRB	16	1,7	4,4	7,0	9,3	11,3	12,9	14,3	15,5
	17	1,8	4,5	7,3	9,7	11,7	13,4	14,8	16,1
	18	1,7	4,4	7,1	9,4	11,3	13,0	14,4	15,5
	19	1,7	4,5	7,2	9,5	11,5	13,2	14,6	15,8
	20	1,8	4,7	7,5	10,0	12,1	13,9	15,4	16,7
	21	1,9	5,0	8,1	10,8	13,2	15,1	16,8	18,2
	22	1,8	4,7	7,6	10,1	12,3	14,1	15,6	16,9
	23	1,8	4,8	7,8	10,4	12,6	14,5	16,0	17,4
	24	1,9	4,9	8,0	10,7	12,9	14,9	16,5	17,9

APÊNDICE E – Altura média (m)

Região	Parcela	Idade (ano)							
		2	3	4	5	6	7	8	9
JGR	2	2,6	4,8	6,5	7,9	8,9	9,7	10,4	11,4
	4	2,7	5,0	6,8	8,2	9,3	10,2	10,9	11,5
	6	1,6	3,8	5,8	7,4	8,8	10,0	10,9	11,7
	10	3,9	6,7	8,8	10,3	11,5	12,4	13,2	13,8
	14	1,6	4,0	6,3	8,4	10,1	11,5	12,7	13,7
	15	2,0	4,6	6,9	8,9	10,5	11,9	13,0	13,9
PTG	1	4,1	6,6	8,5	9,8	10,8	11,6	12,2	12,7
	3	3,6	6,3	8,3	9,8	11,0	11,9	12,7	13,3
	7	3,4	6,5	8,8	10,7	12,1	13,3	14,2	14,9
	12	2,9	5,6	7,8	9,5	10,8	11,9	12,8	13,5
RNG	5	2,2	4,7	6,9	8,7	10,2	11,3	12,3	13,1
	8	3,1	5,7	7,9	9,5	10,8	11,8	12,6	13,3
	9	2,1	4,6	6,9	8,7	10,2	11,4	12,4	13,2
	11	2,6	5,4	7,9	9,8	11,4	12,6	13,7	14,5
	13	1,9	4,5	7,0	9,1	10,9	12,3	13,5	14,6
TRB	16	1,8	4,5	7,3	9,7	11,7	13,4	14,8	16,0
	17	1,7	4,4	7,1	9,4	11,4	13,0	14,4	15,6
	18	1,7	4,4	7,0	9,3	11,2	12,8	14,2	15,3
	19	1,8	4,6	7,4	9,8	11,9	13,6	15,0	16,3
	20	1,7	4,5	7,2	9,6	11,6	13,3	14,8	16,0
	21	1,7	4,6	7,4	9,9	12,0	13,8	15,3	16,6
	22	1,7	4,4	7,0	9,4	11,3	13,0	14,4	15,6
	23	1,8	4,6	7,4	9,9	12,0	13,8	15,3	16,6
	24	1,7	4,5	7,3	9,7	11,8	13,5	15,0	16,3

APÊNDICE F – Altura dominante menos a altura média (m)

Região	Parcela	Idade (ano)							
		2	3	4	5	6	7	8	9
JGR	2	0,29	0,54	0,73	0,88	0,99	1,09	1,16	0,73
	4	0,08	0,16	0,21	0,26	0,29	0,32	0,34	0,36
	6	0,13	0,31	0,47	0,61	0,72	0,81	0,89	0,96
	10	0,34	0,59	0,77	0,91	1,01	1,09	1,16	1,21
	14	0,24	0,60	0,96	1,26	1,52	1,74	1,92	2,07
	15	-	-	-	-	-	-	-	-
PTG	1	0,05	0,09	0,11	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17
	3	0,09	0,16	0,21	0,25	0,28	0,30	0,32	0,33
	7	-	-	-	-	-	-	-	-
	12	0,26	0,51	0,71	0,86	0,99	1,09	1,17	1,23
RNG	5	0,12	0,25	0,36	0,46	0,53	0,59	0,64	0,69
	8	0,05	0,10	0,14	0,17	0,19	0,21	0,23	0,24
	9	0,22	0,49	0,72	0,92	1,07	1,20	1,31	1,39
	11	-	-	-	-	-	-	-	-
	13	0,19	0,47	0,72	0,94	1,12	1,27	1,39	1,50
TRB	16	-	-	-	-	-	-	-	-
	17	0,05	0,13	0,21	0,28	0,34	0,39	0,43	0,47
	18	0,02	0,06	0,09	0,12	0,15	0,17	0,18	0,20
	19	-	-	-	-	-	-	-	-
	20	0,08	0,20	0,32	0,43	0,52	0,60	0,66	0,72
	21	0,17	0,44	0,72	0,96	1,16	1,34	1,48	1,61
	22	0,14	0,36	0,58	0,77	0,93	1,07	1,18	1,28
	23	0,08	0,22	0,36	0,47	0,57	0,66	0,73	0,79
	24	0,17	0,44	0,71	0,95	1,15	1,32	1,46	1,59

APÊNDICE G – Incremento corrente anual (ICA) em Mg ha⁻¹

Região	Parcela	Idade (ano)							
		2	3	4	5	6	7	8	9
JGR	2	-	3,6	6,5	7,4	7,8	7,1	9,2	8,2
	4	-	3,6	8,3	11,0	9,9	6,8	6,8	10,0
	6	-	2,5	6,2	9,1	10,6	11,8	9,8	14,7
	10	-	8,2	13,2	15,2	12,8	9,8	10,2	17,7
	14	-	3,2	9,3	16,7	18,9	17,0	20,1	19,3
	15	-	3,4	12,4	18,6	19,6	15,7	21,0	10,6
PTG	1	-	2,0	6,4	11,9	10,3	8,0	13,3	10,8
	3	-	3,5	10,6	9,9	9,4	8,3	16,6	7,5
	7	-	2,7	7,5	10,0	10,6	9,1	22,5	16,5
	12	-	7,2	13,0	13,2	16,8	15,9	25,8	6,6
RNG	5	-	3,1	6,7	12,8	10,8	10,6	12,0	12,0
	8	-	7,8	13,8	11,2	8,6	7,6	6,6	6,4
	9	-	2,5	7,4	14,7	12,7	11,9	11,3	11,5
	11	-	3,4	8,7	14,9	13,6	21,6	17,1	11,8
	13	-	4,2	9,1	15,9	16,6	19,8	16,6	18,4
TRB	16	-	3,1	9,6	13,2	16,6	21,3	12,7	15,0
	17	-	3,4	11,7	17,7	16,4	17,8	12,2	13,4
	18	-	4,1	13,3	17,0	17,5	17,6	10,7	15,8
	19	-	4,7	14,2	17,6	16,9	18,3	11,8	15,6
	20	-	6,1	14,8	20,9	18,1	15,0	16,8	14,2
	21	-	5,6	11,9	19,5	19,9	20,8	15,7	15,4
	22	-	6,2	12,6	19,4	20,6	19,9	16,7	15,3
	23	-	4,8	11,6	20,6	24,2	21,0	14,8	16,9
	24	-	5,6	13,9	20,9	22,2	23,1	17,0	17,9

APÊNDICE H – Incremento médio anual (IMA) em Mg ha⁻¹ ano⁻¹

Região	Parcela	Idade (ano)							
		2	3	4	5	6	7	8	9
JGR	2	0,2	1,3	2,6	3,6	4,3	4,7	5,3	5,6
	4	0,2	1,3	3,1	4,7	5,5	5,7	5,8	6,3
	6	0,1	0,9	2,2	3,6	4,8	5,8	6,3	7,2
	10	1,5	3,7	6,1	7,9	8,7	8,9	9,0	10,0
	14	0,1	1,1	3,2	5,9	8,0	9,3	10,7	11,6
	15	0,1	1,2	4,0	6,9	9,0	10,0	11,3	11,3
PTG	1	0,1	0,7	2,2	4,1	5,1	5,5	6,5	7,0
	3	0,4	1,4	3,7	4,9	5,7	6,1	7,4	7,4
	7	0,1	1,0	2,6	4,1	5,2	5,7	7,8	8,8
	12	0,7	2,9	5,4	7,0	8,6	9,6	11,7	11,1
RNG	5	0,4	1,3	2,7	4,7	5,7	6,4	7,1	7,6
	8	1,5	3,6	6,1	7,2	7,4	7,4	7,3	7,2
	9	0,1	0,9	2,5	5,0	6,3	7,1	7,6	8,0
	11	0,1	1,2	3,1	5,5	6,8	8,9	10,0	10,2
	13	0,3	1,6	3,4	5,9	7,7	9,5	10,3	11,2
TRB	16	0,1	1,1	3,2	5,2	7,1	9,2	9,6	10,2
	17	0,1	1,2	3,8	6,6	8,2	9,6	9,9	10,3
	18	0,1	1,4	4,4	6,9	8,7	10,0	10,1	10,7
	19	0,1	1,7	4,8	7,4	9,0	10,3	10,5	11,1
	20	0,1	2,1	5,3	8,4	10,0	10,7	11,5	11,8
	21	0,1	2,0	4,5	7,5	9,5	11,1	11,7	12,1
	22	0,2	2,2	4,8	7,7	9,9	11,3	12,0	12,3
	23	0,1	1,7	4,1	7,4	10,2	11,8	12,2	12,7
	24	0,1	1,9	4,9	8,1	10,4	12,3	12,8	13,4

APÊNDICE I – Estoque de massa seca sem casca em Mg ha⁻¹

Região	Parcela	Idade (ano)							
		2	3	4	5	6	7	8	9
JGR	2	0,5	4,0	10,5	17,9	25,7	32,9	42,1	50,3
	4	0,4	4,0	12,3	23,3	33,1	39,9	46,7	56,7
	6	0,3	2,7	9,0	18,1	28,7	40,5	50,4	65,1
	10	3,0	11,2	24,3	39,5	52,3	62,1	72,4	90,1
	14	0,2	3,3	12,6	29,4	48,2	65,3	85,4	104,7
	15	0,2	3,6	15,9	34,5	54,1	69,8	90,8	101,4
PTG	1	0,2	2,2	8,6	20,5	30,8	38,8	52,1	62,9
	3	0,7	4,2	14,8	24,7	34,1	42,4	59,0	66,5
	7	0,2	2,9	10,4	20,3	30,9	40,1	62,6	79,1
	12	1,4	8,6	21,6	34,8	51,6	67,5	93,3	99,9
RNG	5	0,7	3,9	10,6	23,4	34,1	44,8	56,8	68,8
	8	3,0	10,8	24,5	35,8	44,4	51,9	58,5	64,9
	9	0,2	2,7	10,1	24,8	37,5	49,4	60,7	72,2
	11	0,3	3,7	12,4	27,3	40,9	62,5	79,6	91,4
	13	0,5	4,7	13,8	29,7	46,3	66,2	82,8	101,2
TRB	16	0,1	3,3	12,9	26,1	42,7	64,1	76,7	91,7
	17	0,1	3,5	15,3	32,9	49,4	67,1	79,3	92,7
	18	0,2	4,3	17,6	34,6	52,2	69,7	80,5	96,3
	19	0,3	5,0	19,2	36,8	53,7	72,0	83,9	99,5
	20	0,2	6,3	21,2	42,1	60,2	75,2	92,0	106,2
	21	0,3	5,9	17,8	37,4	57,3	78,0	93,7	109,1
	22	0,4	6,6	19,2	38,5	59,2	79,1	95,8	111,1
	23	0,2	5,0	16,6	37,2	61,4	82,4	97,3	114,1
	24	0,2	5,7	19,6	40,5	62,7	85,8	102,8	120,7

APÊNDICE J – Porcentagem de biomassa de 50% das árvores mais finas em relação à biomassa total

Região	Parcela	Idade (ano)							
		2	3	4	5	6	7	8	9
JGR	2	0,29	0,37	0,36	0,35	0,34	0,32	0,31	0,30
	4	0,25	0,31	0,33	0,35	0,36	0,36	0,36	0,35
	6	0,18	0,28	0,30	0,31	0,31	0,29	0,28	0,27
	10	0,34	0,35	0,34	0,33	0,33	0,34	0,33	0,32
	14	0,32	0,39	0,36	0,31	0,29	0,28	0,26	0,25
	15	0,21	0,31	0,32	0,30	0,29	0,28	0,27	0,25
PTG	1	0,38	0,43	0,44	0,37	0,35	0,35	0,34	0,35
	3	0,31	0,25	0,28	0,31	0,34	0,35	0,35	0,38
	7	0,20	0,32	0,34	0,35	0,34	0,33	0,33	0,31
	12	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,33	0,34	0,35
RNG	5	0,26	0,30	0,32	0,34	0,35	0,36	0,37	0,36
	8	0,42	0,41	0,42	0,39	0,38	0,36	0,35	0,36
	9	0,27	0,36	0,36	0,33	0,32	0,31	0,30	0,28
	11	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,35	0,35	0,35
	13	0,35	0,38	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,35
TRB	16	0,37	0,41	0,40	0,38	0,37	0,37	0,37	0,36
	17	0,28	0,40	0,41	0,39	0,38	0,36	0,35	0,35
	18	0,42	0,42	0,39	0,40	0,38	0,37	0,36	0,36
	19	0,18	0,32	0,32	0,36	0,37	0,37	0,37	0,37
	20	0,36	0,40	0,39	0,38	0,38	0,37	0,37	0,36
	21	0,22	0,34	0,37	0,38	0,38	0,37	0,36	0,35
	22	0,30	0,36	0,38	0,41	0,40	0,38	0,37	0,37
	23	0,42	0,38	0,38	0,38	0,38	0,37	0,36	0,35
	24	0,15	0,27	0,30	0,33	0,36	0,36	0,36	0,35