

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

**Caracterização tecnológica da madeira das espécies de maior frequência no  
segundo ciclo de corte na Floresta Nacional do Tapajós**

**Cláudia da Costa Cardoso**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestra  
em Ciências. Programa: Recursos Florestais. Opção em:  
Tecnologia de Produtos Florestais

**Piracicaba  
2015**

**Cláudia da Costa Cardoso**  
Engenheira Florestal

**Caracterização tecnológica da madeira das espécies de maior frequência no segundo ciclo de corte na Floresta Nacional do Tapajós**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:  
Prof. Dr. **IVALDO PONTES JANKOWSKY**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestra em Ciências, Programa: Recursos Florestais. Opção em: Tecnologia de Produtos Florestais

**Piracicaba**  
**2015**

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

Cardoso, Cláudia da Costa

Caracterização tecnológica da madeira das espécies de maior frequência no segundo ciclo de corte na Floresta Nacional do Tapajós / Cláudia da Costa Cardoso. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2015.  
92 p. : il.

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

1. Espécies menos conhecidas 2. *Rinorea guianensis* 3. *Protium apiculatum* 4. *Bixa arborea* 5. Caracterização tecnológica 6. Programas de secagem I. Título

CDD 674.8  
C268c

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

A DEUS.

Aos meus pais,

Raimundo Anselmo da Silva Cardoso e Edna Sebastiana da Costa Cardoso, por seu apoio em todos os momentos e por confiarem em mim e no meu sonho, mostrando-me o caminho da verdade.

À minha irmã,

Gleice, por sempre me fazer sorrir.

Ao meu noivo,

Dartagnan Matos, por seu apoio, amor e paciência.

À todos os amigos, em especial ao Pedro Amaral (em memória) e à Elvira Mota (em memória) por acreditarem em mim e torcerem pela minha vitória.



## AGRADECIMENTOS

Agradeço à DEUS, por estar na minha vida, pois sem ele este trabalho não seria possível. Por guiar meus passos em todos os momentos, me dando força, coragem e sabedoria para seguir em frente.

À minha família, que me proporcionou apoio e incentivo em todos os momentos da minha vida, mesmo nos momentos mais difíceis e decisórios, soube compreender o meu caminho, sempre me reerguendo ao cair.

Ao projeto 2º ciclo de corte na Floresta Nacional do Tapajós/EMBRAPA, por todo o apoio recebido, pelo suporte logístico e durante a coleta do material lenhoso, e pelo fornecimento de dados. Ao Laboratório de Tecnologia da Madeira – LTM/UFOPA, em especial ao pelo apoio na realização dos testes físico-mecânicos e anatômico-macroscópicos, ao Laboratório de Anatomia e Identificação da Madeira e ao Laboratório de Laminação, do Departamento de Ciências Florestais – ESALQ/USP, pelo apoio na caracterização anatômico-microscópica e nos ensaios de secagem drástica.

Ao meu orientador, Prof. Ivaldo Pontes Jankowsky, por sua paciência e compreensão durante toda a elaboração deste trabalho. Creio que foi bastante difícil conciliar trabalho e estudo, mas com sua dedicação pude obter força e conhecimento para concluir o referido trabalho.

Aos professores Victor Hugo Pereira Moutinho, Luciana Sousa e Osmar Aguiar que me auxiliaram a abranger meus conhecimentos, fornecendo informações, emprestando livros de seus acervos pessoais e incentivando sempre a continuar minha caminhada.

Agradeço aos coordenadores dos laboratórios onde foram executados os testes e análises, Mário Tomazello Filho, Geraldo Bortoletto Júnior e Victor Moutinho pela oportunidade, cedendo gentilmente os laboratórios para a concretização deste trabalho, e pelo carinho despendido ao longo de minha estada.

A todos os funcionários/técnicos do LTM/UFOPA, em especial ao colega Solano Dourado e, aos funcionários e estagiários do LAIM e Laboratório de Laminação do LCF/ESALQ/USP que, direta ou indiretamente, sempre se fizeram presentes e dispostos a tornar minha estada nestes locais a melhor possível, não medindo esforços ao repassar seus conhecimentos.

Aos estagiários do LTM/UFOPA: Eva Andrade, Emanuelle Amaral, Diego Aguiar, Lucas Santana, Vitória Ferreira, Geny Silva, Juliano Rocha e Anselmo Araújo, que sempre estiveram presentes ao meu lado do início ao fim de todo o curso, me concedendo seu apoio, sua amizade, companheirismo, incentivo e força em todos os momentos.

À todos os amigos residentes em Piracicaba-SP que me concederam sua amizade. À Saly, Antônio, Alex, Vinícius, Paula e ao Vitor Ribeiro (Vitinho) por seu companheirismo e amizade em todos os momentos de minha estada. E, em especial, ao amigo Ariel Andrade, por todo o seu auxílio, cedendo sua casa para que eu pudesse continuar minha caminhada. Ariel, eu só tenho a agradecer por tudo o que você fez por mim.

A todos meus amigos, familiares e a todos que direta ou indiretamente auxiliaram-me com suas palavras e mensagens de apoio, me concedendo força e me ajudando a ultrapassar os obstáculos e seguir em frente.

Aos professores que fizeram parte da Banca Examinadora, que com suas críticas e observações, me permitirão uma melhor observação do trabalho.

**“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito.  
Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.**

Marthin Luther King



## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| RESUMO.....  | 11 |
| ABSTRACT.....  | 13 |
| 1 INTRODUÇÃO.....                                    | 15 |
| 2 OBJETIVOS.....                                     | 17 |
| 2.1 Objetivo geral.....                              | 17 |
| 2.2 Objetivos específicos.....                       | 17 |
| 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....                         | 19 |
| 3.1 Manejo de espécies tropicais.....                | 19 |
| 3.2 Histórico da área.....                           | 20 |
| 3.3 Propriedades tecnológicas da madeira.....        | 22 |
| 3.3.1 Características anatômicas.....                | 22 |
| 3.3.2 Características físicas da madeira.....        | 23 |
| 3.3.3 Características mecânicas da madeira.....      | 25 |
| 3.4 Relações água-madeira.....                       | 26 |
| 3.5 Secagem da madeira.....                          | 28 |
| 3.6 Defeitos de secagem.....                         | 31 |
| 3.6.1 Rachaduras.....                                | 32 |
| 3.6.2 Empenamentos.....                              | 33 |
| 3.6.3 Colapso.....                                   | 34 |
| 3.7 Programas de secagem.....                        | 34 |
| 4 MATERIAL E MÉTODOS.....                            | 37 |
| 4.1 Seleção de espécies.....                         | 37 |
| 4.2 Identificação botânica e coleta de material..... | 38 |
| 4.3 Armazenamento e desdobro dos pranchões.....      | 40 |
| 4.4 Caracterização anatômica.....                    | 42 |
| 4.4.1 Caracterização macroscópica.....               | 42 |
| 4.4.2 Caracterização microscópica.....               | 42 |
| 4.5 Caracterização físico-mecânica das madeiras..... | 45 |
| 4.5.1 Densidade básica.....                          | 45 |
| 4.5.2 Retração.....                                  | 45 |
| 4.5.3 Ensaios mecânicos.....                         | 46 |
| 4.6 Metodologia de secagem.....                      | 47 |

|   |    |
|---|----|
| 4.7 Análise de correlação canônica.....                       | 50 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....                                 | 53 |
| 5.1 Anatomia da madeira.....                                  | 53 |
| 5.1.1 Acariquarana ( <i>Rinorea guianensis</i> Aubl.).....    | 53 |
| 5.1.2 Breu ( <i>Protium apiculatum</i> Swart.).....           | 55 |
| 5.1.3 Urucu da mata ( <i>Bixa arborea</i> Huber.).....        | 58 |
| 5.2 Caracterização das propriedades físicas da madeira.....   | 61 |
| 5.3 Caracterização das propriedades mecânicas da madeira..... | 63 |
| 5.4 Programas de secagem.....                                 | 66 |
| 5.5 Correlação canônica.....                                  | 70 |
| 6 CONCLUSÕES.....   | 73 |
| REFERÊNCIAS.....  | 77 |
| ANEXOS.....   | 83 |

## RESUMO

### Caracterização tecnológica da madeira das espécies de maior frequência no segundo ciclo de corte na Floresta Nacional do Tapajós

Ensaio pioneiros sobre o manejo de florestas tropicais, no final da década de 70, foram executados na Floresta Nacional (FLONA) do Tapajós; e atualmente surge a oportunidade de se iniciar os estudos relativos ao segundo ciclo de corte. Nisto, áreas experimentais em que a exploração inicial foi intensiva apresentam mudanças na cobertura vegetal, com abundância de espécies menos conhecidas ou não comerciais, sendo então necessário analisar tecnologicamente a madeira dessas espécies com o intuito de inseri-las no mercado. Visando colaborar nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo principal caracterizar tecnologicamente e elaborar programas de secagem para as madeiras de Acariquarana (*Rinorea guianensis*), Breu (*Protium apiculatum*) e Urucu da mata (*Bixa arborea*); espécies com alta densidade populacional na área do segundo ciclo de corte na FLONA Tapajós. Para tal, abateu-se cinco árvores de cada espécie, sendo coletado material tanto para a identificação botânica como para a caracterização anatômica, ensaios físico-mecânicos e elaboração dos programas de secagem, além destes foram realizados testes estatísticos de correlação canônica para identificar as associações entre as características estudadas. Com base nos resultados, a madeira das espécies *Rinorea guianensis* e *Protium apiculatum* apresentaram características anatômicas semelhantes às encontradas em literatura ao nível de gênero e, *Bixa arborea* para o nível de espécie. Em relação às principais propriedades físico-mecânicas, as madeiras de Acariquarana, Breu e Urucu possuem densidade básica de, respectivamente, 0,78; 0,51 e 0,27 g/cm<sup>3</sup>; e com Módulo de Ruptura (MOR) na flexão estática de 147,98; 79,10 e 34,06 Mpa, na mesma ordem. Em comparação com espécies já comercializadas, a espécie *Rinorea guianensis* (Acariquarana) pode ser indicada para construção civil, móveis, ferramentas, além de torneados e chapas; a espécie *Protium apiculatum* (Breu) pode ser usada na construção civil, embalagens, caixas, venezianas, para decoração, móveis e compensados e, *Bixa arborea* (Urucu da mata) pode ser indicada para molduras, palito de fósforo, compensados, laminados, divisórias internas, engradados, brinquedos, aeromodelismo, além de produção de papel. Foi possível a indicação de programas de secagem específicos para as madeiras de cada uma das espécies estudadas, os quais se mostraram coerentes com as indicações encontradas em literatura para espécies já comercializadas e com características semelhantes às das espécies em estudo. Com relação à análise das correlações canônicas ao nível de 1% de probabilidade entre as propriedades das madeiras observa-se que madeiras de maior frequência e espessura do raio e parede celular de menor espessura estão associadas a madeiras de alta contração tanto tangencial como radial, e baixa densidade básica; madeiras de maior frequência e espessura do raio e com paredes menos espessas estão associadas a madeiras de elevado módulo de ruptura no ensaio de flexão estática e menor módulo de ruptura no ensaio de compressão paralela; madeiras com paredes mais espessas e menor espessura dos raios estão associadas a madeiras de maior módulo de ruptura no ensaio de compressão paralela e menor módulo de ruptura no ensaio de flexão estática; madeiras com raios mais espessos e parede menos espessa estão associados a madeiras de baixo nível de colapso e elevado nível de rachadura.

Palavras – chave: Espécies menos conhecidas; *Rinorea guianensis*; *Protium apiculatum*; *Bixa arborea*; Caracterização tecnológica; Programas de secagem



## ABSTRACT

### **Lumber technological characteristics of the more frequent species at second exploration cycle in the Tapajós National Forest**

Pioneering trials on management of tropical forests, in the 70s, were executed in the Tapajós National Forest (FLONA); and presently appears the opportunity to begin the studies for the second cutting cycle. However, experimental areas where initial exploration was intensive present changes in the forest composition, with abundance of lesser-known or non commercial species; being necessary technological analysis of these species lumber to insert it in the market. In order to contribute in this direction, the present work aimed the technological characterization and the development of drying programs for woods of Acariquarana (*Rinorea guianensis*), Breu (*Protium apiculatum*) and Urucu da mata (*Bixa arborea*); species with high population density in areas of second cutting cycle in the Tapajós National Forest. For this, the material was collected for botanical identification and for anatomical characterization, physical and mechanical testing and development of drying programs. The wood of Acariquarana presents some distinct growth rings, straight grain, very large vessels, solitary to multiple, intervascular switches pit, garnished, long fibers with thick cell wall, not septate; Axial parenchyma scanty paratracheal, heterogeneous rays, multiseriate, numerous and the presence of parenchymatical crystals. The wood of Breu has distinct growth rings, crossed grain, big vessels, solitary to multiple, diffuse porosity, intervascular switches pit, garnished, medium-wall fibers, septate, paratracheal vasicentric axial parenchyma, heterogeneous rays, multiseriate, numerous. Wood of Urucu da mata presents distinct growth rings, straight grain, big vessels, diffuse porosity, intervascular switches pit, garnished, thin-walled fibers, septate, axial parenchyma diffuse apotracheal, storied rays, heterogeneous, multiseriates and numerous. Regarding the main physical and mechanical properties the wood of Acariquarana, Breu and Urucu have basic density of, respectively, 0,78; 0,51 and 0,27 g/cm<sup>3</sup>; and with Module of Rupture (MOR) in static bending of 147,98; 79,10 and 34,06 MPa, in the same order. Compared to species already marketed, *Rinorea guianensis* (Acariquarana) may be indicated for construction, furniture, tools, turned and plates; *Protium apiculatum* (Breu) may be used in construction, packages, boxes, blinds, decorating parts, furniture and plywood, and *Bixa arborea* (Urucu da mata) may be indicated for frames, safety match, plywood, laminates, crates, toys, model airplanes, as well to paper production. It was possible to indicate specific kiln schedules for each one of the studied species lumber, which demonstrated consistent with the information found in literature for species already on the market and with similar characteristics to the studied species.

**Keywords:** Lesser known species; *Rinorea guianensis*; *Protium apiculatum*; *Bixa arborea*; Technological lumber characteristics; Kiln schedules



## 1 INTRODUÇÃO

A Floresta Nacional (FLONA) do Tapajós foi criada pelo Decreto 73.684, de 19/02/74 (PPBio, 2013), sendo a segunda criada na região Norte e no Estado do Pará. A FLONA Tapajós possui cerca de 600.000ha, abrigando populações indígenas e comunidades tradicionais, além de apresentar uma vasta diversidade de fauna e flora conservadas, sendo objeto de estudos científicos desde a sua criação.

Nisto, o Km 67 da FLONA Tapajós pode ser considerado de grande importância para os estudos de Manejo e Silvicultura nos trópicos, devido o seu histórico de monitoramento desde 1979. Na década de 70, a EMBRAPA instalou experimentos em uma área de 70ha de floresta de terra firme.

Estes experimentos foram e são significativos para o setor florestal. Dentre estes, destaca-se o projeto desenvolvido com o auxílio da Organização Internacional de Madeiras Tropicais - OIMT (ITTO), o qual visava explorar duas áreas com diferentes intensidades de corte. Em uma delas foram extraídas as espécies tradicionais com  $DAP \geq 55\text{cm}$ , e na outra foram retiradas espécies com  $DAP \geq 45\text{cm}$ , sendo retirados um total de  $72\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$  (BACHA e RODRIGUEZ, 2006).

Segundo Pereira Junior (2006), após a exploração da área experimental, foram realizados inventários contínuos, com o objetivo de avaliar os impactos ocasionados pela exploração e monitorar a evolução com relação à recuperação e recomposição da floresta, onde se determinou também o Diâmetro Mínimo de Corte e revelou subsídios para sugerir o ciclo de corte em áreas de Exploração de Impacto Reduzido.

Com base nestes aspectos, a FLONA Tapajós tornou-se uma das maiores experiências em conservação de recursos naturais e produção florestal. Em toda a Amazônia legal, apenas este sítio pode ser submetido ao 2º ciclo de corte considerando a legislação vigente, onde seu monitoramento ao longo do tempo permite a obtenção de informações atualizadas da dinâmica florestal. Dentre outros aspectos, verificou-se que, no início do segundo ciclo de corte, a composição florística e a estrutura da floresta são diferentes daquelas que foram observadas no início do primeiro ciclo (REIS, et. al., 2010). Contudo, a capacidade de absorção destas novas espécies comerciais pela indústria madeireira ainda é incipiente, sendo necessários estudos de caracterização tecnológica das madeiras no intuito de facilitar a comercialização e valorizar o recurso florestal madeireiro pela inclusão de diferentes espécies no mercado.

Neste contexto, o presente trabalho objetivou analisar as propriedades tecnológicas e definir programas de secagem convencional para as madeiras de três espécies com grande densidade populacional no segundo ciclo de corte do manejo florestal ocorrente na Floresta Nacional do Tapajós, bem como avaliar seus respectivos potenciais de utilização.

Tal pesquisa é importante para a cadeia produtiva dos manufaturados de madeira, uma vez que a caracterização das propriedades e a indicação de programas de secagem de espécies ainda desconhecidas comercialmente contribuirão para o mercado madeireiro, podendo aumentar a eficiência do processo, bem como poderá promover efeitos positivos para a sustentabilidade no manejo das florestas tropicais por meio da inserção de novas espécies.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Caracterizar tecnologicamente e indicar programas de secagem para a madeira de espécies de maior frequência em área experimental na Floresta Nacional do Tapajós, submetida ao segundo ciclo de corte em manejo de floresta tropical.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Descrever os caracteres anatômicos das espécies selecionadas;
- Determinar algumas das propriedades físico-mecânicas mais usuais das espécies em estudo.
- Elaborar os respectivos programas de secagem
- Definir possibilidades de uso comparativamente a espécies comercialmente conhecidas.



### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Manejo de Florestas Nativas

O Brasil abrange cerca de 20% de toda biodiversidade mundial, majoritariamente distribuída em ecossistemas florestais, sendo que as florestas tropicais amazônicas respondem por aproximadamente 25% das florestas remanescentes do planeta e, no Brasil, ocupam cerca de 60% do território nacional (BACCARO et. al., 2008).

A Amazônia Brasileira é constituída principalmente por florestas densas e abertas, porém comporta uma diversidade de outros ecossistemas, como florestas estacionais, florestas de igapó, campos alagados, várzeas, savanas, refúgios montanhosos, campinaranas e formações pioneiras; abrangendo vastos estoques de madeira comercial e de carbono, possuindo uma enorme variedade de produtos florestais não madeireiros que são utilizadas por comunidades locais, as quais permitem a manutenção destas comunidades (MMA, 2009), além de proporcionar a conservação dos recursos florestais.

Dentre as alternativas para a conservação e utilização da Floresta Amazônica está o manejo florestal que, segundo Higuchi et. al. (1998), quando associado à sustentabilidade assiste as demandas da sociedade por produtos madeireiros e não madeireiros. Machado (2008) ratifica isto ao afirmar que o manejo de recursos florestais, dadas às características e potencialidades da região, se coloca como um dos principais caminhos para se alcançar um desenvolvimento com bases realmente sustentáveis. Contudo, Oliveira (2005), relata que para que a produção de madeira seja sustentável é necessária que a intensidade de corte aplicada permita a regeneração da floresta.

A regulamentação brasileira para o Plano de Manejo Florestal Sustentável, explicitada na Instrução Normativa - IN 05 (2006) estabelece no capítulo III, seção I, art. 5, inciso II, que o ciclo de corte inicial deve ser de no mínimo 25 anos e no máximo 35 anos para a categoria de PMFS Pleno e de 10 anos, no mínimo, para a categoria de PMFS de baixa intensidade. No parágrafo 1º do mesmo regulamento está definida a intensidade máxima de corte de 30m<sup>3</sup>/ha, para o PMFS Pleno, com ciclo de corte inicial será de 35 anos; e de 10m<sup>3</sup>/ha para o PMFS de baixa intensidade, com ciclo de corte de 10 anos. Todavia, não há estudos completos comprovando que tanto a intensidade como o ciclo de corte estão corretos, pois cada sítio tem sua especificidade e condições edafoclimáticas divergentes.

A exemplo disto, Jochen Schöngart (2008), em seu trabalho utilizando da dendrocronologia para estudar os padrões de crescimento de madeiras amazônicas e definir

ciclos de corte e diâmetro mínimo de derrubada em área de várzea, relatou que, as espécies estudadas apresentaram taxas de crescimento divergentes, onde sistemas policíclicos com estabelecimento de diâmetro único de corte não asseguram que haverá a manutenção dos estoques de madeira na floresta, e ainda afirma que este modelo não é sustentável. Com base neste estudo, foi efetivada a Instrução Normativa (IN) nº 009 pela secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SDS) do Estado do Amazonas, em 12 de novembro de 2010; definindo novas formas de manejo em florestas de várzea (INPA, 2011).

Para Sobral et. al. (2002), a atividade de exploração madeireira é a mais dinâmica e paradoxal da Amazônia, em que, se esta for efetuada de maneira predatória, há a probabilidade de ocasionar danos severos na floresta e empobrecer, a longo prazo, a economia da região. Todavia, se for administrada de forma adequada, poderá conciliar geração de renda e emprego e ao mesmo tempo garantir a manutenção da floresta. Entretanto, quando se trata de floresta amazônica, a cautela tem de ser maior, pois são recursos provenientes de ecossistemas heterogêneos, complexos e frágeis (HIGUCHI et. al. 1998).

Em razão destes aspectos, pela intensa exploração de espécies de elevado valor econômico na região, as quais geralmente dispõem de baixa densidade populacional, agravada devido ao processo de exploração madeireira, torna-se necessária a atribuição de alternativas como a abertura de mercado para novas espécies com características semelhantes às já tradicionalmente comercializadas que, para Carvalho (1996), poderá contribuir substancialmente para solucionar o problema; sendo que seriam necessários estudos que viabilizassem o conhecimento sobre as propriedades tecnológicas das espécies, de maneira a determinar seus prováveis usos.

Desta maneira, a inserção de novas espécies ao processo de extração e comercialização, visando a diminuição dos impactos ambientais ocasionados com utilização intensa de algumas poucas espécies, é um processo que se reflete no setor produtivo que mais consome este insumo no país; contribuindo para a preservação e sustentabilidade das florestas brasileiras (ZENID, 2009).

### **3.2 Histórico do Km 67 da FLONA Tapajós**

Desde a década de 70, a Floresta Nacional do Tapajós tornou-se um dos principais centros experimentais em manejo florestal. No ano de 1975 foi realizado o inventário a 100% de espécies arbóreas com DAP igual ou superior a 15cm, sendo caracterizadas 66 espécies; além da realização de amostragem da regeneração natural e avaliações tanto dendrométricas

como fitossociológicas. Após este período, dentre os projetos mais interessantes, destaca-se o experimento instalado no Km67 da BR163, entre os anos de 1978 e 1979. Nesse experimento foram realizadas as primeiras explorações e tendo como objetivo de longo prazo um ensaio de exploração florestal permanente; avaliando-se os danos causados pela exploração e prevendo inventários florestais contínuos; a fim de poder acompanhar a composição florística e estrutura da floresta (COSTA FILHO, et. al., 1980).

Segundo o mesmo autor, a área experimental é de 64ha, de maneira que em 25ha foi realizada a exploração de árvores com  $DAP \geq 55\text{cm}$  e, em 39ha foi efetuada a colheita de árvores com  $DAP \geq 45\text{cm}$ ; sendo retirado um volume médio de  $72\text{m}^3/\text{ha}$ . Após a exploração, foram instaladas 18 parcelas permanentes de 50 x 50m em ambas as áreas, onde foram levantados dados de danos e áreas de clareiras. Em 1981 foram feitas as primeiras medições das parcelas permanentes (inventário florestal), posteriormente repetidas nos anos de 1982, 1983, 1985, 1987, 1992, 1997, e 2007. Tendo como subsidio estas informações, de 2001 a 2003, ocorreu a formalização do programa Promanejo, com o objetivo de analisar e informar a viabilidade do manejo florestal de baixo impacto na área da FLONA Tapajós sob a gerência dos comunitários tradicionais do local. Posteriormente, sendo comprovada tal viabilidade, o IBAMA deferiu o projeto piloto da Cooperativa Mista da Flona Tapajós - AMBÉ/COOMFLONA.

Reis et. al. (2010), em seu trabalho sobre a composição e dinâmica florestal da referida área após 28 anos de exploração, relata que a forte colheita realizada no primeiro ciclo contribuiu para a não recuperação do volume das espécies inicialmente exploradas e que a estrutura florestal original foi alterada, reduzindo a quantidade de madeira comercial. Contudo, espécies pioneiras e não exploradas mostraram um balanço positivo em volume e em densidade, além de características que podem favorecer a sua exploração; sendo indicadas para análises tecnológicas, a fim de contribuir para determinar o uso e processamento destas novas espécies.

### **3.3 Propriedades tecnológicas da madeira**

#### **3.3.1 Características anatômicas**

O conhecimento sobre a estrutura anatômica da madeira é de grande relevância principalmente no que diz respeito à qualificação da madeira de maneira a atender diversos usos, evitando sua utilização inadequada e desperdícios (PAULA, 2003).

Para Burger e Richter (1991), o estudo da anatomia da madeira envolve sua formação, funções e particularidades estruturais, visando obter informações quanto a sua identificação e prevendo e compreendendo o comportamento da madeira quanto ao seu uso. Segundo Zenid e Ceccantini (2007), é uma ferramenta importante na identificação científica da madeira, com grau substancial de confiabilidade; sendo que para a correta identificação são utilizadas abordagens como a análise macroscópica, que observa as características anatômicas inerentes às camadas de crescimento, parênquima, poros e raios, dentre outros; as organolépticas, que são as características como cor, odor, brilho, grã, gosto, textura, densidade, dureza e desenhos; além da análise microscópica em que são observados características do tecido e das células constituintes do lenho.

A madeira formada sob influência do meristema apical, definida como lenho juvenil, apresenta diferenças anatômicas em relação aos tecidos formados nas partes do fuste que já estão afastados da copa, chamado de lenho ou madeira adulta. Comparativamente, o comprimento das fibras em espécies folhosas tende a ser duas vezes maior no lenho adulto do que no lenho juvenil, afetando as propriedades de resistência mecânica da madeira. Comparando o lenho juvenil com o lenho adulto, o autor relata que o primeiro apresenta características de baixa densidade; alta contração longitudinal; maior ângulo fibrilar; menor comprimento celular, com paredes em sua maioria delgadas; com madeira de textura grossa, exibindo um aspecto opaco e, são mais suscetíveis ao ataque de patógenos (BENDTSEN, 1978; Apud.; TIENNE et. al., 2009).

Fato este confirmado por Panshin e Zeeuw (1964), os quais relatam que a organização e a orientação dos materiais nas paredes e tecidos celulares causará o fator anisotrópico interferindo nas propriedades físicas da madeira; e a composição química das substâncias presentes na parede celular oferecem subsídios para a compreensão do comportamento quantitativo da madeira.

Lopes e Garcia (2002) e Tsoumis (1991) relatam que a densidade básica pode variar dependendo de características anatômicas como o comprimento e a largura da célula, a espessura da parede celular, o diâmetro do lume, a quantidade e a distribuição dos diferentes elementos anatômicos; além de também ser influenciada pela umidade, extrativos e composição química.

A madeira é constituída principalmente por células alongadas, fusiformes, arranjasdas de forma paralela entre si ao longo do tronco da árvore. Para Miller (1999), características da madeira, como as fibras e seus arranjos detêm influências sobre propriedades da madeira, como a resistência, a contração e o padrão de grã da madeira e, Silva et. al. (2007), relatam

que os estudos anatômicos fornecem dados sobre a estrutura do lenho, possibilitando identificar as relações entre o lenho e as características gerais da madeira, em especial com relação à resistência mecânica, resistência natural, trabalhabilidade e permeabilidade.

A secagem da madeira também é dependente da estrutura anatômica da madeira (CARDIN, 2011). No momento em que a madeira está perdendo umidade para o ambiente, verificam-se os fenômenos de capilaridade na movimentação da água líquida e de difusão em relação à água higroscópica. A água no estado líquido escoia pelos capilares, caracterizados pelos elementos anatômicos da madeira, atravessando lumes e pontoações; em resposta à tensão capilar, a qual é inversamente proporcional ao raio do capilar (SKAAR, 1988).

### **3.3.2 Características físicas da madeira**

As propriedades físicas da madeira estão significativamente ligadas à sua organização estrutural, principalmente com a quantidade dos componentes químicos, principais e secundários, na parede celular, o que define a sua massa específica, índice mais utilizado para antever o comportamento da madeira.

Segundo Araújo (2007), as propriedades físicas e mecânicas da madeira são elementos importantes para conceder a correta aplicação da madeira, desde que haja uma relação com outros fatores como resistência, economia, estética, entre outros, permitindo que ocorra a classificação das madeiras de acordo com a utilização mais adequada, de maneira a fornecer peças estruturais em ambientes externos e internos de habitações, painéis, embalagens, caixotes e móveis.

A densidade básica é considerada um dos principais parâmetros para a determinação da qualidade da madeira, sendo definida como a relação entre a massa da madeira absolutamente seca e o seu volume saturado, expressa em  $\text{g/cm}^3$  (LOPES e GARCIA, 2002).

Para Lima (1996), a densidade da madeira é a consequência do complexo de características anatômicas e químicas da madeira. A densidade básica é uma das características que melhor representa a qualidade da madeira visando seu uso, com o parâmetro mais analisado e difundido, por sua importância e facilidade de obtenção (RIBEIRO & ZANI FILHO, 1993).

Embora não seja uma propriedade física propriamente dita, outra característica de grande importância é a umidade da madeira, a qual é expressa pela relação entre a massa da água contida na madeira e a massa seca desta mesma madeira. A madeira é um material higroscópico, mantendo relação dinâmica com a água presente na atmosfera; tornando-se

necessário tomar conhecimento quanto aos fundamentos físicos de modo a compreender a relação existente entre a água e a madeira (GALVÃO e JANKOWSKY, 1985), principalmente a sua movimentação dimensional.

Segundo os mesmos autores, a retratibilidade é o fenômeno de movimentação da madeira (inchamento ou encolhimento) pelo ganho ou perda de água abaixo do ponto de saturação das fibras. Isto ocorre devido às moléculas de água estarem ligadas por pontes de hidrogênio às microfibrilas dos polissacarídeos, principalmente a porção de celulose amorfa, e quando estas são forçadas a sair (dessorção) as forças de coesão tendem a reaproximar as microfibrilas, ocasionando a contração da madeira como um todo. Quando ocorre a adsorção de umidade verifica-se o fenômeno inverso, ou seja, o inchamento.

Para Oliveira et. al. (2010), a retratibilidade pode ser volumétrica ou linear. A volumétrica expressa a variação total ocorrida na variação higroscópica e a linear retrata a variação que ocorreu ao longo dos planos de orientação da madeira, a citar, tangencial, radial e longitudinal de forma; e que pelo fato de serem diferentes caracterizam a madeira como um material anisotrópico. Segundo Cardin (2011), a madeira não possui as mesmas características nos três planos principais, definidos como tangencial, radial e longitudinal.

Scanavaca Junior e Garcia (2004) e IPT (1985), relatam que a contração tangencial será maior que a radial, enquanto que a contração longitudinal é praticamente desprezível, pois sua contração é tão baixa que raramente irá interferir no comportamento dimensional da madeira. Este fato pode ser explicado pelas angulações das microfibrilas de celulose na parede celular, as quais atuam no comportamento dimensional da madeira que, segundo Silva (1992), exercem influência sobre as fibras e as propriedades da madeira.

Para Kollman & Côté (1968), a divergência entre a variação dimensional tangencial e radial pode ser elucidada pela atuação restritiva dos raios no sentido radial e uma das circunstâncias das propriedades anisotrópicas da madeira é a orientação das fibras que formam o tecido lenhoso. Ademais este fato também pode ser elucidado devido às características anatômicas inerentes às espécies sendo que, o volume dos raios, a dimensão radial das fibras e as variações químicas entre faces radiais e tangenciais podem influenciar a anisotropia da madeira.

A partir das retrações lineares é definido o coeficiente anisotrópico, que é a razão entre as contrações tangencial e radial. Quanto maior for o valor do coeficiente anisotrópico, maior será a tendência ao fendilhamento e ao empenamento da madeira, durante as modificações acarretadas pela variação higroscópica (OLIVEIRA et. al., 2010).

Segundo Lopes e Garcia (2002) madeiras provenientes de árvores recém- abatidas contêm elevados teores de umidade sendo claro que, quanto mais densa a espécie, menor deverá ser o teor de umidade em sua madeira. Contudo, o autor relata que a umidade da madeira de árvores vivas pode demonstrar uma conduta análoga ao da umidade de máxima saturação, sugerindo que podem ocorrer situações de correlação inversa entre a densidade básica e a umidade natural.

Todavia, Andrade (2000) em seu estudo sobre indicações de programas de secagem, relata que massa específica maior é decorrente de maior espessura da parede celular e menor lume; portanto madeiras de maior massa específica contêm maior quantidade de água higroscópica, tornando sua movimentação de água mais lenta. Entretanto, madeiras com menor massa específica apresentam maior quantidade de água de capilaridade, a qual depende do raio dos capilares e, principalmente, do raio das pontuações para a movimentação. Outro fator importante é a espessura das peças, pois o aumento da espessura faz com que haja um aumento na proporção de massa de água a ser retirada em relação à superfície de evaporação, de maneira que o processo seja mais lento.

### **3.3.3 Características mecânicas da madeira**

O estudo da caracterização mecânica da madeira é de grande valia para que se possa preconizar a utilização da madeira (MORALES, 2002), sendo seu conhecimento de grande importância para certificar parâmetros de segurança e durabilidade ao material (CARRASCO, 2003).

As propriedades mecânicas da madeira são uma expressão da reação do material perante a aplicação de forças, sendo essa reação varia de acordo com os diferentes tipos de força exercida sobre a madeira e sobre seus elementos organizacionais (PANSKIN et. al., 1964).

Para Hibbeler (2010), a resistência de um material irá depender de sua capacidade de suportar uma força sem deformação excessiva ou ruptura. Ao se aplicar uma carga provoca-se uma deformação no material, proporcional à carga aplicada; e se o material retorna ao seu estado original quando essa carga é aliviada, tem-se um processo chamado de deformação elástica. A elasticidade é decorrente das deformações produzidas pela força exercida sobre um corpo, de modo que são completamente recuperáveis após a remoção das cargas, contudo, quando os corpos são submetidos a elevados níveis de estresse, podem ocorrer deformações permanentes ou a ruptura do material (GREEN et. al., 1999).

Segundo Carvalho (1996), quanto mais elevado o resultado do módulo de elasticidade, maior será a resistência do material, menor será a deformidade; quanto mais baixos os valores do módulo de elasticidade, pior será a resistência do material. Contudo a capacidade que um corpo tem de resistir a uma determinada carga máxima de impacto durante o processo de flexão, ultrapassando seu limite elástico e sofrendo deformação, é caracterizado como módulo de ruptura (GREEN et. al., 1999). Os componentes módulo de ruptura (MOR) e de elasticidade (MOE) são parâmetros determinados em teste de flexão estática, fornecendo estimativas de resistência da peça à uma força exercida perpendicularmente ao eixo longitudinal da mesma (SCANAVACA JUNIOR e GARCIA, 2004).

Os ensaios mecânicos são uma maneira de obter informações quanto à resistência da madeira quando submetida à esforços mecânicos. Dentre os ensaios mecânicos podem ser citados como mais importantes os testes de flexão estática, dureza Janka, cisalhamento, compressão paralela e compressão perpendicular.

O teste de flexão estática consiste em aplicação de uma força em um terceiro ponto da amostra, a qual é sustentada por dois suportes, sendo obtida a mensuração da deformação da amostra com o auxílio do deflectômetro e uma escala; o teste de dureza Janka, consiste em penetrar a superfície do material com uma esfera de aço, até a metade de seu diâmetro. (WANGAARD, 1950).

### **3.4 Relações água-madeira**

Madeiras advindas de árvores recém-cortadas apresentam alto teor de umidade, com tendência a reduzir-se, espontânea e lentamente, à medida que as toras são colocadas para o procedimento de secagem e aguardam o processo de desdobramento (GALVÃO e JANKOWSKY, 1985). Após este processo, a umidade tende a reduzir com maior ou menor rapidez, isto poderá variar de acordo com espécie, dimensões das peças, empilhamento e condições ambientais.

Sendo a madeira, um material higroscópico, interage com o meio adsorvendo ou desorvendo umidade para o ar. Desta forma, as suas propriedades físicas e mecânicas são influenciadas sensivelmente (CARDIN, 2011).

Segundo afirmação de Jankowsky (2009), é consensual na literatura o reconhecimento de que a água existente na madeira se apresenta, principalmente, de duas formas bastante distintas:

- água livre ou capilar, localizada nos lumes e possíveis espaços intercelulares. É água no estado líquido, que permanece retida no interior da madeira por forças capilares;
- água higroscópica ou de impregnação ou ligada (“bound”), que está localizada no interior da parede celular, em todos os elementos anatômicos da madeira. São moléculas de água que estão ligadas em camadas polimoleculares, principalmente por pontes de hidrogênio, aos grupos hidroxílicos acessíveis nas regiões não cristalinas da celulose presente na parede celular.

Considerando-se que as propriedades termodinâmicas dos dois tipos de água são diferentes, é importante conceituar o Ponto de Saturação das Fibras (PSF), que define o teor de umidade da madeira quando se tem o máximo de água higroscópica, sem a presença de água livre.

Segundo Galvão e Jankowsky (1985) o teor de água da madeira pode influenciar consideravelmente nas suas propriedades físicos-mecânicas, ressaltando que a resistência mecânica da madeira diminui na medida que eleva-se o teor de umidade; e que também ocorrem alterações volumétricas em razão das variações da água higroscópica.

Para Cardin (2011), acima do PSF, a água livre segue um movimento de acordo com as leis capilares sendo que, quanto menor o diâmetro dos capilares, mais elevada será a força de tração da coluna de água nestes capilares. Abaixo deste ponto, há perda de água por um processo que pode ser considerado como um processo de difusão, onde a água das camadas internas se difunde como vapor, enchendo de água os espaços vazios antes ocupados pela água livre, até que se atinja a superfície da madeira.

Quando o teor de umidade decresce abaixo do ponto de saturação das fibras (PSF) ocorre o processo de contração que, devido à característica anisotrópica da madeira, que apresenta amplitudes diferentes em relação aos três planos estruturais (OLIVEIRA e SILVA, 2003). Em geral, a madeira sofre contrações em porcentagens diferentes, pois possui comportamento diferente conforme a direção das fibras e dos anéis de crescimento, sendo que a contração tangencial pode ocasionar defeitos como torções nas peças de madeira (CARDIN, 2011).

A contração e a expansão higroscópica são problemas práticos que ocorrem durante a sua utilização da madeira, como consequência da variação do teor de umidade (COSTA, 2006). O teor de umidade da madeira também acaba por interferir nos tratamentos, curvamento, preservação, secagem, colagem, fabricação de compensados e aglomerados, produção de carvão vegetal, processamento mecânico, entre outros (GALVÃO & JANKOWSKY, 1985).

Segundo Oliveira et. al. (2010), a contração da madeira pode ser diferentes de espécie para espécie florestal, dependendo da condução da secagem e do comportamento da madeira. Este processo geralmente acarreta em modificações da forma e à produção de empenos e fendas. Conforme o mesmo autor, a partir destes valores de contração, obtém-se um importante índice, gerado pela relação entre a contração tangencial e a radial, onde através desta razão, obter-se-á uma noção sobre o comportamento das madeiras em virtude da secagem, de forma a sugerir uma maior ou menor probabilidade de fendas nas peças sendo que, estes valores podem variar de 1,3 a 1,4 para madeiras consideradas estáveis e valores maiores que 3,0 para madeiras com extrema instabilidade dimensional.

Conforme Borges e Quirino (2004), quando a peça de madeira atinge um valor menor do que o ponto de saturação das fibras, a oscilação dos valores de umidade no interior da madeira influencia a incidência de defeitos e pode prejudicar o uso. Para contornar esse problema os autores sugerem a alteração química da madeira, diminuindo a sua higroscopicidade, com base no tratamento térmico.

### **3.5 Secagem da Madeira**

O processo de industrialização da madeira precisa adequar-se, com o intuito de atender à demanda de madeira sólida exigida pelo mercado e, entre as etapas deste processo, cita-se a secagem da madeira; que conforme Vivian et. al. (2011), é a fase intermediária que mais colabora para agregar qualidade e, conseqüentemente, valor ao produto final. Aliando-se técnicas de secagem da madeira e o conhecimento sobre a mesma há a possibilidade de um controle mais eficiente do processo (MELO et. al., 2008).

RIETZ e PAGE (1971) relatam que a secagem da madeira é um estágio que tem diferentes e importantes vantagens tais como a redução da massa devido a retirada de água, aumento das propriedades de resistência da madeira, maior aderência de cola e penetração de componentes preservativos; maior resistência elétrica e térmica.

Espécies que detém maior massa específica sofrem um processo de secagem mais trabalhoso, se comparado com espécies de menor massa específica. Este fato pode ser elucidado devido as primeiras deterem uma quantidade maior de água higroscópica, contudo, a movimentação de água é mais lenta, pois possuem parede celular mais espessa e lume de menor volume. Em contrapartida, as espécies com menor massa específica detém uma maior quantidade de água capilar, fazendo com que a movimentação de água dependa do raio dos capilares (ANDRADE, 2000).

A secagem da madeira consiste em uma técnica que objetiva a diminuição do teor de umidade da madeira, com o propósito de levá-la até um determinado ponto, com o menor tempo possível e o mínimo de defeitos (ANJOS, et. al., 2011).

No início do processo de secagem, com a madeira úmida, o aspecto mais relevante é a transferência de calor do ambiente para a superfície da madeira de maneira que, com a perda de umidade para o ambiente, a transferência de calor da superfície para o interior da madeira vem a ser o fator limitante; sendo importante aplicar maior velocidade de ar durante a fase inicial da secagem se equiparado com a fase final. Desta forma, o calor passa do ar para a superfície da madeira por convecção e, em seguida, a madeira é aquecida e o calor é repassado para o interior da peça por condução (ANDRADE, 2000).

Para Galvão e Jankowsky (1985) a evaporação superficial e a transferência de calor e são conduzidas por condições externas, todavia a ação que mover a umidade do interior da madeira até a superfície é comandada primordialmente por propriedades da madeira tais como a massa específica e a permeabilidade.

Segundo Andrade (2000), o processo de difusão da água higroscópica ocorre até o momento em que a molécula de água chega à cavidade celular sendo que a partir deste instante, a água presente na forma de vapor, inicia sua movimentação por difusão através do ar contido no lume de forma a ser adsorvida por outra parede celular, onde ocorre novamente o procedimento de difusão da água higroscópica, de maneira que este processo ocorrerá repetitivamente até que a molécula de água atinja a superfície da madeira.

Para Jankowsky e Silva (1985), durante a secagem da madeira, há a movimentação da água do interior da peça para a superfície, na forma de vapor, gerando um gradiente de umidade sendo que, este fluxo contínuo de água é decorrente da permeabilidade e do gradiente de umidade, originados da umidade da madeira quando está acima e abaixo do PSF, respectivamente.

Abaixo do PSF a umidade da madeira é influenciada pela temperatura ambiente e umidade relativa do ar. Todavia, após um período de tempo em contato com o ar, a madeira estabiliza-se, e a partir deste momento, não ganha e nem perde água para o ambiente, entrando no processo de equilíbrio. Este fenômeno pode ser definido como ponto de equilíbrio da madeira, onde a madeira pode conter cerca de 12 a 18% de umidade, dependendo do local onde está ocorrendo a secagem, para a maioria das espécies de forma que, caso seja primordial de estabelecer teores de umidade menores, é necessário valer-se da secagem artificial (CARDIN, 2011).

O processo de secagem da madeira é reconhecido como de fundamental importância no processamento de madeira sólida, afetando significativamente a qualidade do produto e os custos de produção. Contudo, o processo de secagem ainda necessita aperfeiçoamento técnico, visto que o principal motivo para a secagem da madeira é a garantia de que se obtenha uma madeira dimensionalmente estável, acomodando as variações dimensionais sem alterar a forma do produto (SEVERO, 2009). Segundo Susin (2012), novas técnicas de desdobro e secagem da madeira, fornecem uma melhora na qualidade e no rendimento da madeira e sua utilização de forma que, na secagem da madeira, há princípios a serem considerados quando se efetua tal processo.

Há variados processos de secagem, a citar a secagem natural, secagem a vácuo, secagem solar, pré-secadores, secagem acelerada baseada nas propriedades reológicas da madeira e a secagem convencional; sendo que este último é distinguido por ser um processo que reduz a incidência de defeitos decorrentes da secagem por abranger contínuas mudanças nas condições internas do secador, de modo a reduzir o tempo de secagem e minimizar a incidência de defeitos (MELO et. al., 2008).

Segundo Andrade (2000), a secagem em estufa convencional necessita de um alto investimento inicial e elevado custo operacional, o que a torna uma das etapas críticas do beneficiamento da madeira, sendo que o grande nível de perdas associados ao processo, em virtude também da falta de procedimentos adequados nessa fase e de informações sobre as espécies, resultam em dificuldades na condução da secagem. Contudo, quando são utilizadas técnicas adequadas de secagem, há possibilidades de diminuição dos defeitos e do tempo de secagem, procedimentos estes que agregam valor ao produto final. Contudo, Susin (2012) afirma que o elevado investimento inicial e a necessidade de mão-de-obra especializada são as principais restrições da secagem convencional.

No processo de secagem convencional em estufas, há o controle da umidade relativa, temperatura, e velocidade do ar, visando um equilíbrio entre a taxa de movimentação interna de calor e umidade à velocidade de evaporação da água na superfície da madeira; reduzindo a ocorrência de perdas, em um tempo hábil e com um produto final de qualidade (JANKOWSKY et al., 2009).

Para Pratt (1974), estufas de secagem convencional são câmaras de secagem que funcionam com temperaturas entre 35°C e 90°C, apresentando um sistema de aquecimento, um sistema de umidificação do ar, um conjunto de “dampers” ou janelas, os quais fazem com que haja a troca de ar entre o interior da estufa e o meio externo, além de do sistema de ventilação, o qual proporciona a circulação do ar através das pilhas de madeira.

Para madeiras pouco conhecidas, Andrade et. al. (2001) relatam que a indicação de programas de secagem e os ajustes dos mesmos para estas espécies, utilizam da técnica de tentativa e erro, sendo este um processo lento, pois os programas usados atualmente em espécies tradicionais não podem ser indicados para espécies menos conhecidas. Segundo o mesmo autor, cada espécie demonstra um comportamento peculiar na decorrência do procedimento de secagem e há as que apresentam características semelhantes podendo estas serem agrupadas em um mesmo programa, não havendo necessidade de manter elevados estoques carregando o secador com peças homogêneas, auxiliando também no acréscimo de mais espécies em uma mesma carga de secagem.

A taxa de secagem consiste na retirada de uma certa quantidade de água em um determinado período de tempo, em razão da área de evaporação da madeira. De com Susin et. al. (2014) e Susin (2012), a taxa de secagem irá depender de fatores como a temperatura, a umidade relativa do ar e a velocidade do ar.

### **3.6 Defeitos de secagem**

Todas as madeiras estão sujeitas aos defeitos de secagem. Contudo, algumas espécies desenvolvem mais defeitos do que outras, a exemplo disto, são as madeiras mais densas as quais irão sofrer maiores defeitos do que as madeiras menos densas (WARD e SIMPSON, 1991). Para Galvão e Jankowsky (1985), as tensões que se desenvolvem na peça de madeira durante o processo de secagem são as principais causas de defeitos decorrentes da secagem.

Para Martins (1998), os defeitos provenientes da secagem diminuem o valor da madeira no mercado, originando desinteresse no uso de espécies refratárias. Este aspecto auxilia, de certa forma, para que haja maior interesse na exploração seletiva de poucas espécies, em geral as já tradicionalmente comercializadas.

Segundo Mendes (1998), os defeitos originados durante a secagem da madeira são as rachaduras, os empenos, o endurecimento superficial e o colapso (Figura 1.).

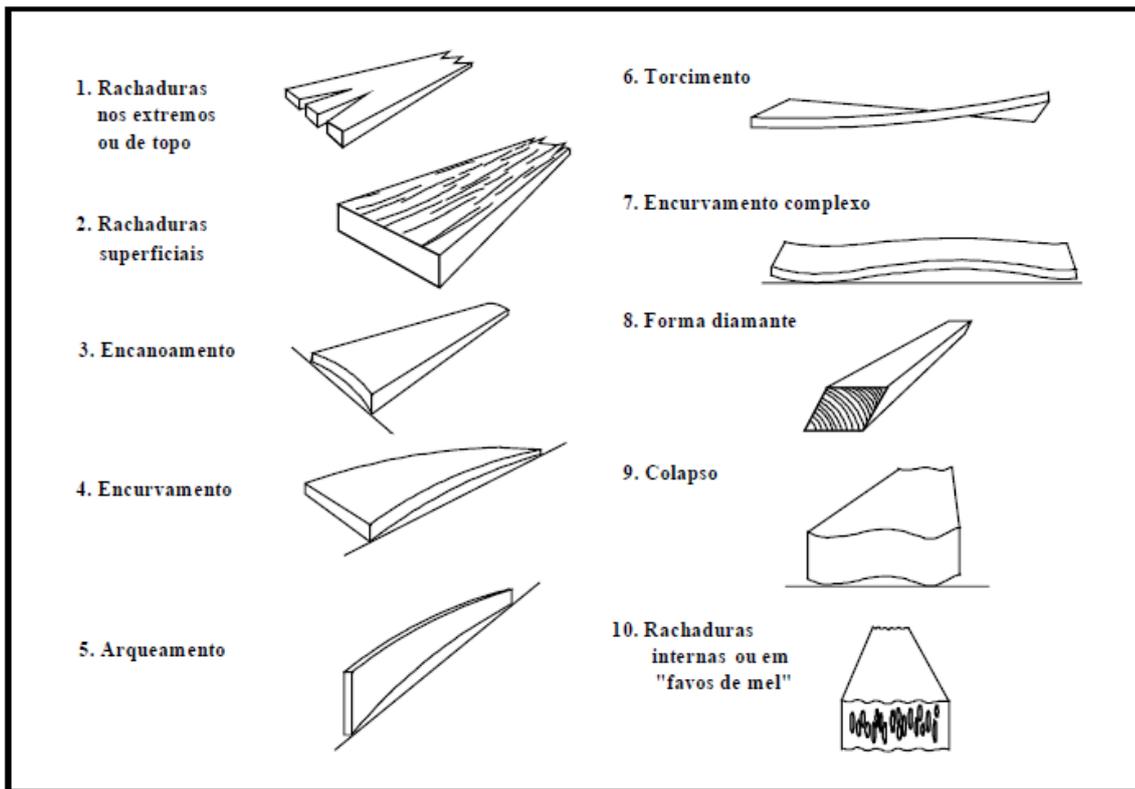


Figura 1 - Defeitos de secagem (Mendes et. al.,1998)

Para diminuir o tempo de secagem e reduzir os defeitos originados por esse processo, é necessário que haja a secagem de uma espécie por vez, levando em consideração que deverão ser de mesma espessura e qualidade. Ademais, a carga de madeira precisa deter, em torno do mesmo valor da umidade no início do processo de secagem (GALVÃO E JANKOWSKY, 1985); sendo que Susin (2012), relata que durante a secagem, as fileiras dos separadores devem ser alinhadas verticalmente, afim de diminuir os empenamentos das tábuas.

Deve-se ressaltar que diferentes espécies podem ser grupadas e submetidas em conjunto ao mesmo processo de secagem, desde que apresentem características similares; conforme demonstrado por Andrade (2000).

### 3.6.1 Rachaduras

As rachaduras são causadas pela diferença de contrações nas seções tangenciais e radiais e também pela diferença de umidade de regiões contínuas da peça. Essas diferenças de retração causam tensões que, tornando-se superiores a resistência dos tecidos lenhosos, ocasionando a ruptura do tecido. As rachaduras geralmente se iniciam nos raios, os quais são

formados por células parenquimáticas, com menor resistência mecânica (GALVÃO e JANKOWSKY, 1985).

Durante os estágios iniciais da secagem, a variação dos gradientes de umidade pode ocasionar as rachaduras superficiais e de topo. Entretanto, no final do processo de secagem podem ocorrer rachaduras internas, geralmente associadas ao endurecimento superficial (DENIG et al., 2000; SANTOS, 2002).

Para Simpson (1991) quando o gradiente de umidade forma-se ao longo do comprimento da peça, ocasiona uma secagem mais rápida do topo das peças do que do meio, causando tensões nos topos e, conseqüentemente, rachaduras de topo.

Mendes et. al. (1998), relatam que rachaduras de topo são mais frequentes em peças mais espessas, sendo que pode-se reduzir as rachaduras elevando a umidade relativa dentro da câmara, sem contudo alterar a temperatura de bulbo seco. Além deste, é recomendado a vedação dos extremos das peças com produtos impermeabilizantes tais como parafina, resinas ou tintas apropriadas.

### **3.6.2 Empenamentos**

Gomide (1969) relata que empenamento ocorre quando uma peça de madeira sofre uma secagem desigual em diferentes partes da peça, ocasionando também contrações divergentes sendo que, estas diferentes contrações causarão empenos na peça. Autores como, Simpson (1991), Pratt (1974), Mendes (1998), Galvão e Jankowsky (1985), dentre outros, citam cinco formas comuns de empenos que decorrem do processo de secagem artificial ou natural são o encanoamento, arqueamento, encurvamento, torcimento e forma diamante. Estes tipos de empenos podem ser causados por divergência entre as contrações tangencial, radial e longitudinal em uma mesma peça, de acordo com o processo de secagem; presença de lenho juvenil; desvios de grã; ocorrência de madeira de tração ou compressão, originada durante o crescimento da árvore e, presença de endurecimento superficial não retirado pelo acondicionamento.

Elaborar programas menos severos, reduzindo o potencial de secagem durante o processo e evitando teores de umidade final muito baixos podem minimizar o aparecimento dos defeitos sendo que, o processo de igualação ajuda a evitar que as peças detenham um teor de umidade muito abaixo do desejado (MENDES et. al., 1998).

### 3.6.3 Colapso

Quando há a remoção da água contida nas cavidades celulares, com temperatura elevada durante o início da secagem, pode ocorrer uma tensão hidrostática dentro dos lumens; a qual, excedendo o limite proporcional, acarreta em uma contração brusca das paredes celulares, causando o colapso. Este defeito proporciona à madeira uma aparência contraída e ondulada (MARTINS et. al., 1988). Segundo Keey et. al. (1999), o colapso ocorre no início da secagem, no momento em que a umidade encontra-se acima do ponto de saturação das fibras.

De acordo com Galvão e Jankowsky (1985), o colapso é causado principalmente por forças geradas durante a movimentação da água capilar, ocasionando a deformação das células e, conseqüentemente, é caracterizado por ondulações nas superfícies das peças de madeira. Os fatores que influenciam no colapso são: pequeno diâmetro dos capilares e pontuações; elevadas temperaturas durante o início da secagem; baixa massa específica e a alta tensão superficial do líquido que é removido da madeira. Entretanto, a ocorrência de bolhas de ar na água capilar reduz a probabilidade de colapso.

Simpson (1991) relata que o colapso deve ser evitado, pois é um defeito grave, e a utilização de programas de secagem especiais, de maneira planejada, podem reduzir este defeito.

Para Mendes et. al. (1998), para diminuir a incidência de colapso é necessário reduzir a temperatura de bulbo seco na fase inicial da secagem. Quando a intensidade do colapso é moderada é possível a recuperação da madeira durante a fase de acondicionamento.

## 3.7 Programas de secagem

Conforme Martins (1998), a secagem artificial ocorre em uma faixa de temperatura de 40 a 100°C, com controle de temperatura, velocidade do ar e umidade relativa; sendo que o princípio básico é a circulação de ar seco e quente através da pilha de madeira. Contudo, este processo, associado à velocidade da secagem, pode gerar defeitos durante a secagem, dependendo das propriedades da espécie.

Observando este fato, há a necessidade de adaptar os programas de secagem as diferentes espécies, de maneira a proporcionar um programa de secagem equilibrado, com uma velocidade de secagem ideal para cada espécie e com o mínimo de defeitos possíveis nas peças. Almejando melhorar o processo de secagem em termos temporais e diminuir a proporção dos defeitos decorrentes da secagem, são confeccionados os programas de secagem

adequados para cada espécie, sendo necessário considerar as dimensões das peças (SUSIN, 2012).

Para Mendes et. al. (1998), o programa de secagem é definido como um plano preestabelecido, contendo temperatura e umidade relativa do ar com alterações ideais, as quais devem ser aplicadas às peças de madeira durante o processo de secagem; sendo que quando bem elaborado, o programa de secagem possibilita uma madeira seca com o teor de umidade almejado, no menor tempo e com o mínimo de defeitos possíveis.

Martins (1988) relata que os principais fatores utilizados para escolher um programa de secagem são a espécie (massa específica, contração, entre outras), a umidade inicial e final, espessura do material, destinação final do produto e o equipamento utilizado para o processo de secagem.

Os programas de secagem mais comuns são os do tipo umidade-temperatura, em que a temperatura do processo é definida em função do teor de umidade da madeira. Nos programas de secagem podem ser destacadas três fases distintas: aquecimento, secagem, e uniformização e condicionamento (GALVÃO e JANKOWSKY, 1985; MENDES et. al., 1998):

a) Aquecimento: o ar é aquecido até atingir a temperatura desejada e a diminuição na umidade relativa do ar é compensada com a umidificação do ambiente, visando o equilíbrio térmico entre o ar e a madeira. Nesta fase, a umidade relativa do ar é próxima a 100%;

b) Secagem: primeiramente, há a remoção da água livre, utilizando altas umidades relativas e baixas temperaturas, para mitigar a incidência de defeitos como rachaduras, empenamentos e colapso. Reduzir o gradiente de umidade diminui as tensões internas e consequentemente os defeitos da madeira.

Na medida em que a madeira perde umidade tem início o gradual aumento de temperatura e diminuição da umidade relativa, visando a remoção da água higroscópica. Nesta fase o processo irá depender de elementos como a espessura da peça de madeira, temperatura, gradiente de umidade, potencial de secagem e massa específica (SUSIN, 2012).

c) Uniformização e condicionamento: a uniformização tem o objetivo de homogeneizar a umidade entre as peças que compõem a carga de madeira; enquanto que o condicionamento visa uniformizar a distribuição de umidade no interior das peças e aliviar as tensões de secagem, com o reumidecimento de camadas superficiais das peças.

Segundo Jankowsky (2009), no programa do tipo umidade/temperatura, os principais parâmetros a serem considerados para avaliar a sua agressividade são a temperatura Inicial (Ti), a temperatura Final (Tf) e o potencial de secagem (PS, equação 1). As temperaturas

indicam a disponibilidade de energia no ar para evaporar a água presente na madeira, enquanto que o potencial de secagem indica a intensidade desejada para a evaporação superficial ou a agressividade do programa em si.

$$PS = \frac{\text{Umidade da madeira (corrente ou na etapa considerada no programa)}}{\text{Umidade de equilíbrio (corrente ou da etapa considerada no programa)}} \quad (1)$$

Quanto maiores as temperaturas e o potencial de secagem, mais rápida será a secagem. Contudo, maior será a possibilidade de aumentar a incidência de defeitos. O programa de secagem ideal é aquele que promove a melhor combinação entre rapidez e qualidade, e deverá ser ajustado pelo operador de acordo com os equipamentos disponíveis (secador e sistema de controle) e com as práticas operacionais adotadas (empilhamento, separação por espécie ou espessura, pré-secagem ao ar, dentre outras).

Terazawa (1965) e Brandão (1989); apud; Andrade (2000) trabalharam a metodologia baseada na relação entre os parâmetros do programa de secagem com os defeitos acarretados pela secagem drástica a 100°C; sugerindo a hipótese de que pequenas amostras de madeira, quando submetidas a uma secagem severa como a secagem drástica, apresentarão velocidade de secagem, defeitos e taxa de secagem em um nível proporcional aos valores esperados para uma secagem convencional.

Essa metodologia foi aprimorada por Jankowsky (2009), permitindo a indicação de programas de secagem a partir de um ensaio laboratorial de fácil execução; bem como o agrupamento de espécies com base no comportamento durante a secagem laboratorial, conforme demonstrado por Andrade (2000).

### **Correlação Canônica**

Segundo Silva et. al. (2009), a correlação canônica é aplicada por pesquisadores que realizam estudos exploratórios, dispondo de um elevado número de variáveis, porém podem observar a maior correlação entre as combinações lineares.

A análise de correlação canônica é uma técnica que identifica e quantifica a associação entre dois grupos de variáveis  $X' = [X_1, X_2, \dots, X_{n1}]$  e  $Y' = [Y_1, Y_2, \dots, Y_{n2}]$ , visando definir as combinações lineares  $c_1x$  e  $c_2y$  tais que detenham a maior correlação possível, sendo que cada função baseia-se em um par de variáveis estatísticas, onde uma representa as variáveis independentes e a outra as dependentes. Dessa forma, a correlação não considera apenas o conjunto, mas é convergida na máxima quantia de relação entre as variáveis. O resultado é que o primeiro par de variáveis é determinado de modo a obter a

intercorrelação mais elevada possível entre os dois conjuntos de variáveis e, o segundo par de variáveis é alcançado de maneira a demonstrar a máxima relação entre dois conjuntos de variáveis não elucidadas pelo primeiro par (FERREIRA, 2009).

Segundo Trugilho et. al. (2003), a maximização da correlação canônica representa uma experiência para convergir uma relação de dimensão elevada em poucos pares canônicos entre dois grupos de variáveis.

Para Ribeiro Filho (2009), na correlação canônica há dois conjuntos de variáveis em que se almeja a máxima correlação entre ambos. Contudo, o mesmo autor relata que, o problema está em estimar a máxima correlação canônica entre combinações lineares de características das variáveis independentes e das variáveis dependentes, bem como estimar os respectivos coeficientes de ponderação dos caracteres em cada combinação linear. Sendo  $X_1$  e  $Y_1$  uma das combinações lineares das variáveis independentes e dependentes, respectivamente, tem-se:

$$X_1 = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_px_p \text{ e}$$

$$Y_1 = b_1y_1 + b_2y_2 + \dots + b_qy_q, \text{ em que:}$$

$a' = [a_1, a_2, \dots, a_p]$  é o vetor  $1 \times p$  de pesos das características de  $X$  e

$b' = [b_1, b_2, \dots, b_q]$  é o vetor  $1 \times q$  de pesos das características de  $Y$ .

Não há tamanho de amostras ideal para a correlação canônica, o que há é o valor da contribuição das descobertas a fim de compreender o problema pesquisado (FERREIRA, 2009).



### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.2 Seleção de espécies

A seleção das espécies teve por base o resultado dos inventários florestais aplicados nas parcelas experimentais permanentes, informados por Ruschel<sup>1</sup> (informação pessoal); sendo que os critérios para a seleção foram: abundância, frequência, dominância na área de estudo e ausência de estudo prévio na área de tecnologia. As espécies utilizadas neste estudo foram a Acariquarana (*Rinorea guianensis*), o Breu (*Protium apiculatum*) e o Urucu da mata (*Bixa arborea*), provenientes do segundo ciclo de corte da área experimental da Embrapa na Floresta Nacional do Tapajós.

A área experimental sob administração da EMBRAPA, na Floresta Nacional do Tapajós, está localizada nas imediações do km 67 da BR-163, em Santarém, PA. As coordenadas geográficas dessa área são S02°53'08,0" e W054°55'16,7" (Figura 2).

---

<sup>1</sup> RUSCHEL, A. EMBRAPA Amazônia Ocidental (CPATU).

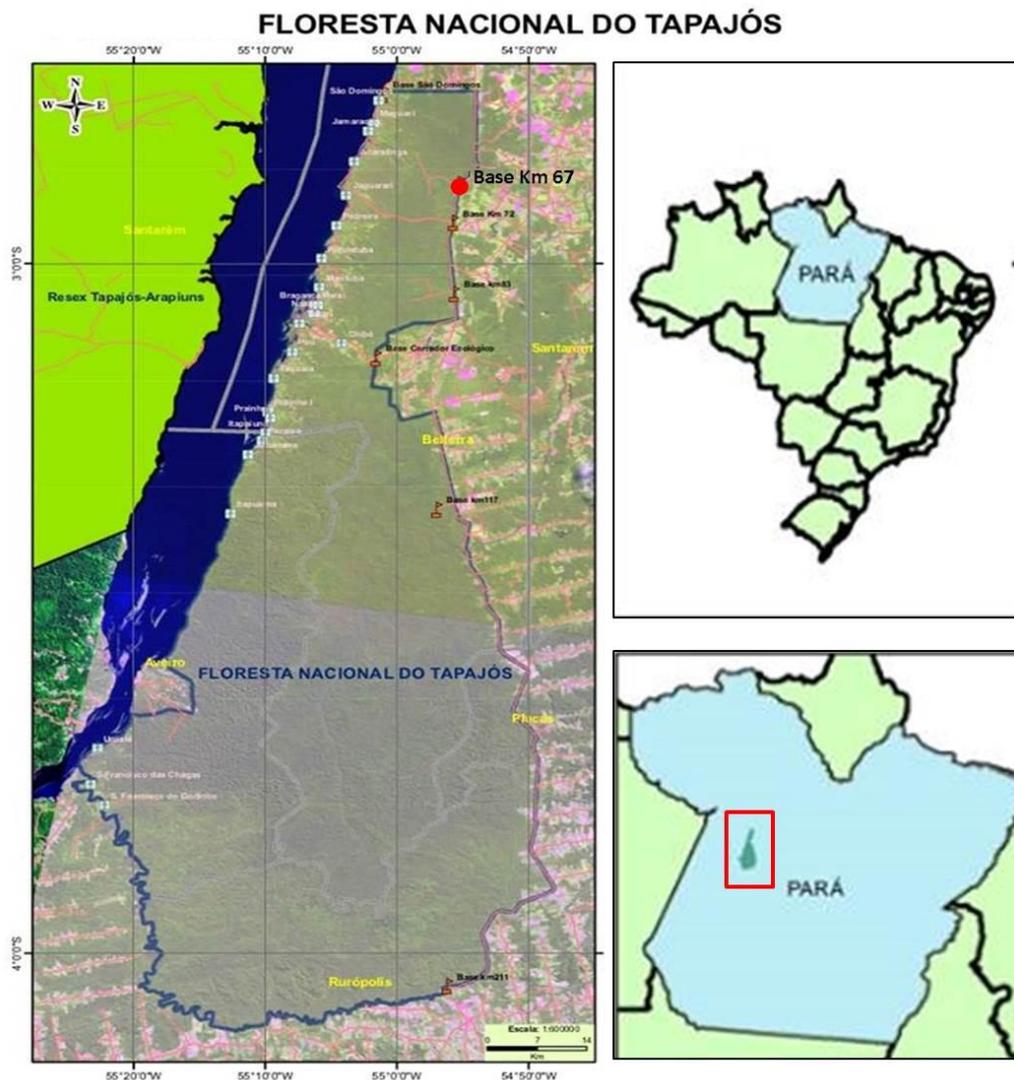


Figura 2 - Mapa com a localização da área de estudo (ICMBio, 2012)

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Ami, ou seja, tropical úmido com variação térmica anual inferior a 5° C. No sistema Gaussen, o clima é classificado como Xeroquimênico, apresentando temperaturas mais baixas superiores a 15° e um período seco de até 40 dias. Temperatura média anual em torno de 25,5°C, umidade relativa do ar em média de 90% e precipitação média anual de 1.820 mm; apresenta grande variação durante o ano, com as maiores precipitações ocorrendo nos meses de janeiro a maio, com relevo pouco acidentado, se apresenta com topografia de suavemente ondulada a ondulada, predominando na área o solo do tipo Latossolo Amarelo Distrófico (IBAMA, 2004). A vegetação foi classificada como matas de terra firme sem babaçu (EMBRAPA, 1980).

### 3.3 Identificação botânica e coleta de material

As coletas de material botânico e lenhoso das espécies em estudo ocorreram no período de 23 a 25 de outubro de 2012. Foram abatidas de forma aleatória, cinco árvores por espécie (totalizando 15 árvores), visando sua posterior identificação e confecção de corpos de prova. Visou-se também obter homogeneidade do material amostrado, em termos de altura, vigor e ausência de defeitos, conforme a norma NBR 7203 (ABNT, 1982). É importante ressaltar que essa coleta foi a primeira intervenção na floresta decorridos 30 anos da primeira exploração.

Para cada árvore coletou-se, no momento do abate, material botânico; o qual foi organizado de forma que pudessem ser observadas o ramo completo com as faces abaxial e adaxial das folhas, sendo posteriormente condicionadas em jornal e prensadas em papelão e prensas de madeira. O material foi expurgado com álcool 70% e, após secagem, montadas as respectivas exsicatas (organização e colagem do material em folha de cartolina e respectiva etiquetagem de acordo com a espécie).

As exsicatas foram encaminhadas para herbários da Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA e da EMBRAPA Amazônia Oriental, visando a identificação com o auxílio de especialistas por meio da comparação com as exsicatas registradas nos referidos Herbários e posterior incorporação aos acervos.

De cada árvore foram previamente mensuradas as dimensões e demais características dendrométricas, tais como altura do tronco, ramificações, bifurcações, tortuosidade, dentre outros. Após a derrubada das árvores, as toras foram serradas na seção diametral, selecionando-se a tora basal, com 4,0m de comprimento, para retirada dos corpos de prova. A tora basal foi seccionada na metade de seu comprimento, gerando, por árvore, 2 toretes com 2,0m de comprimento.

De cada torete foram retirados os pranchões centrais, buscando evitar as rachaduras que ocorreram durante a derrubada (Figura 3). A espessura dos pranchões variou entre 10,0 e 15,0cm, o comprimento foi uniforme (2,0m) e a largura variou de acordo com o diâmetro da tora.



Figura 3 - Coleta de amostras. a) Toco de exploração; b) Mensuração para posterior desdobro em duas toras, cada uma com 2m de comprimento; c) Desdobro da árvore em toras; d) Mensuração de 10 a 15cm; e) Marcação da tora; f) Desdobro da tora em pranchões; g) Codificação das peças; h) Peça com codificação correspondente à espécie

### 3.4 Armazenamento e desdobro dos pranchões

Após a coleta, os pranchões foram levados ao Laboratório de Tecnologia da Madeira – LTM/UFOPA. Onde foram empilhadas e cobertas com lona, tomando os devidos cuidados para manter as peças úmidas e, com o auxílio de uma mangueira as peças eram molhadas por

cerca de duas horas diariamente durante os três turnos. Os pranchões permaneceram assim durante dezenove dias até seu desdobramento em pranchas e corpos-de-prova menores (Figura 4).

Para o desdobro dos pranchões em corpos-de-prova menores, primeiramente as amostras foram marcadas tomando como base a orientação dos anéis de crescimento. Para os testes mecânicos foram retirados dois sarrafos, na parte intermediária do cerne, com dimensões de 5 x 5 x 200cm (largura, espessura e comprimento); seguindo as normas estabelecidas pela ABNT-NBR 7190 (1997).

Adicionalmente, foram cortadas uma régua por prancha, com dimensões de 5 x 2 x 140cm (largura, espessura e comprimento), para posterior retirada dos corpos de prova destinados ao ensaio de secagem drástica, conforme metodologia descrita por Jankowsky (2009). Do material restante foram retiradas as amostras para caracterização anatômica.



**Figura 4** - Desdobro dos pranchões em corpos-de-prova para ensaios mecânicos. a) Marcação dos pranchões para a obtenção de sarrafos com 5x5cm e do pranchão em pranchas com 2cm de espessura a serem retiradas na face tangencial e o mais distante da medula; b) Secção do pranchão com o auxílio de uma serra circular; c) Sarrafo com 5x5cm; d) Pranchas com 2cm empilhadas; e) Desdobro das pranchas em seções menores de 21x5x1cm (Comprimento x largura x espessura)

Após o processo de desdobro em sarrafos e réguas, as peças coletadas retornaram ao LTM/UFOPA; onde as peças para o ensaio de secagem foram mantidas em geladeira sob o intervalo de 10° a 4°C até o início dos testes, e as peças para os ensaios mecânicos foram acondicionadas em sala climatizada a uma temperatura de 20°C ± 5°C e uma umidade relativa de 65% para aclimação e redução de umidade até 12% ± 5%.

### **3.5 Caracterização Anatômica**

#### **3.5.1 Caracterização macroscópica**

A caracterização anatômica macroscópica da madeira foi realizada no Laboratório de Tecnologia da Madeira – LTM/UFOPA. Amostras de 5 x 5 x 5cm foram lixadas no plano transversal com uma lixadeira orbital, marca SSP by Makita, 180W, modelo MBO372, utilizando-se lixas de granulometria crescente (50, 80, 120, 180, 220, 280, 320, 360, 400 e 600), de modo a gerar melhor visualização e distinção dos caracteres analisados (Figura 5). A observação e análise dos elementos anatômicos seguiram as diretrizes preconizadas por Coradin e Muniz (1992), utilizando-se uma Lupa Bel, modelo 1004287, e a ampliação de 1.3, além do software de imagens Belview, versão 6.2.3.0.

#### **3.5.2 Caracterização microscópica**

A caracterização anatômica microscópica da madeira foi realizada parte no Laboratório de Anatomia e Identificação da Madeira – LAIM, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”-Esalq/USP e parte no LTM/UFOPA, onde foram confeccionadas e analisadas lâminas histológicas para a mensuração e quantificação de fibras, parede celular, raios, vasos e pontuações.

Na caracterização microscópica, as amostras foram obtidas através de seções da área intermediária da medula-casca, sendo segregadas em amostras menores, com o corte seguindo o sentido da grã.

Na confecção do corte das amostras, foi utilizado o micrótomo de deslize manual da American Optical Corp., modelo 36H, para a obtenção das seções histológicas dos três planos da madeira que, apresentaram espessuras de 20µm para os planos transversais e espessuras de 15µm para os planos tangenciais e radiais.

Após realização dos cortes foram montadas as lâminas para análise, contendo várias amostras de um mesmo plano e com adição de uma gota da solução de glicerina visando a

manutenção da umidade. Logo após este procedimento, as lâminas foram condicionadas em papel alumínio e etiquetadas conforme a espécie.

Para a confecção das lâminas permanentes foram selecionados os melhores cortes dos três planos direcionais das espécies em estudo e, com base na metodologia de Johansen (1940), os cortes passaram pelo processo de clarificação em hipoclorito de sódio a 2,5% que, posteriormente, foram repassadas no processo de coloração com safranina hidroalcoólica na proporção 1:100, desidratação em série alcoólica de 30%, 50%, 70%, 80%, 90% e 100%, álcool absoluto-acetato de butila (1:1) e acetato de butila, respectivamente. Em seguida, as amostras foram seccionadas e organizadas nas seções transversal, tangencial e radial, sendo acrescentada uma gota de Bálsamo do Canadá e cobertas com lamínulas, devidamente etiquetadas com numeração correspondente ao nome científico.

Em alguns casos, a amostra apresentou tendência a enrolar, neste momento utilizou-se de um pedaço de guardanapo de papel em cima da amostra do início ao final do processo. Este procedimento evitou que a amostra enrolasse e danificasse as fibras do material durante o processo de clarificação e desidratação das amostras – série alcoólica.

Para a confecção dos macerados, foi necessária a retirada de lascas provenientes das mesmas amostras utilizadas para a análise macroscópica, sendo então acondicionadas em tubos de ensaio, um para cada árvore das espécies estudadas.

Com base na metodologia de Franklin (1945), adicionou-se aos tubos de ensaio uma solução de ácido acético glacial e peróxido de hidrogênio na proporção 1:1, sendo os tubos de ensaio vedados com papel alumínio e fita crepe, visando evitar a evaporação do conteúdo. Posteriormente, acondicionou-se os mesmos em estufa com temperatura de 60° C, até que o material perdesse sua coloração natural.

Após este período, o macerado, em condições quase transparentes, foi lavado em água destilada e então acrescentado formol para a conservação do material. Após este procedimento, foram confeccionadas as lâminas de macerado onde, uma porção da amostra é acrescentada na lâmina e adicionada Safranina aquosa, sendo após acrescentado glicerina pura, homogeneizando a amostra de modo a não danificar as fibras, cobrindo com lamínula em seguida.

Posteriormente, as lâminas histológicas e de macerado foram levadas a um microscópio Zeiss, modelo AXIOSKOP, com objetivas de 2,5x, 10x e 40x acoplado a uma câmera digital Leica, modelo EC3, ligada ao computador, no qual estava instalado o software Leica Application Suite versão 1.7.0, para a visualização e captura de imagens. Posteriormente, os caracteres anatômicos foram quantificados com o auxílio do software

Image-Pro-Plus versão 4.5.0.29 (Figura 5). A caracterização anatômica microscópica seguiu as diretrizes estabelecidas pela International Association of Wood Anatomist – IAWA (1989).

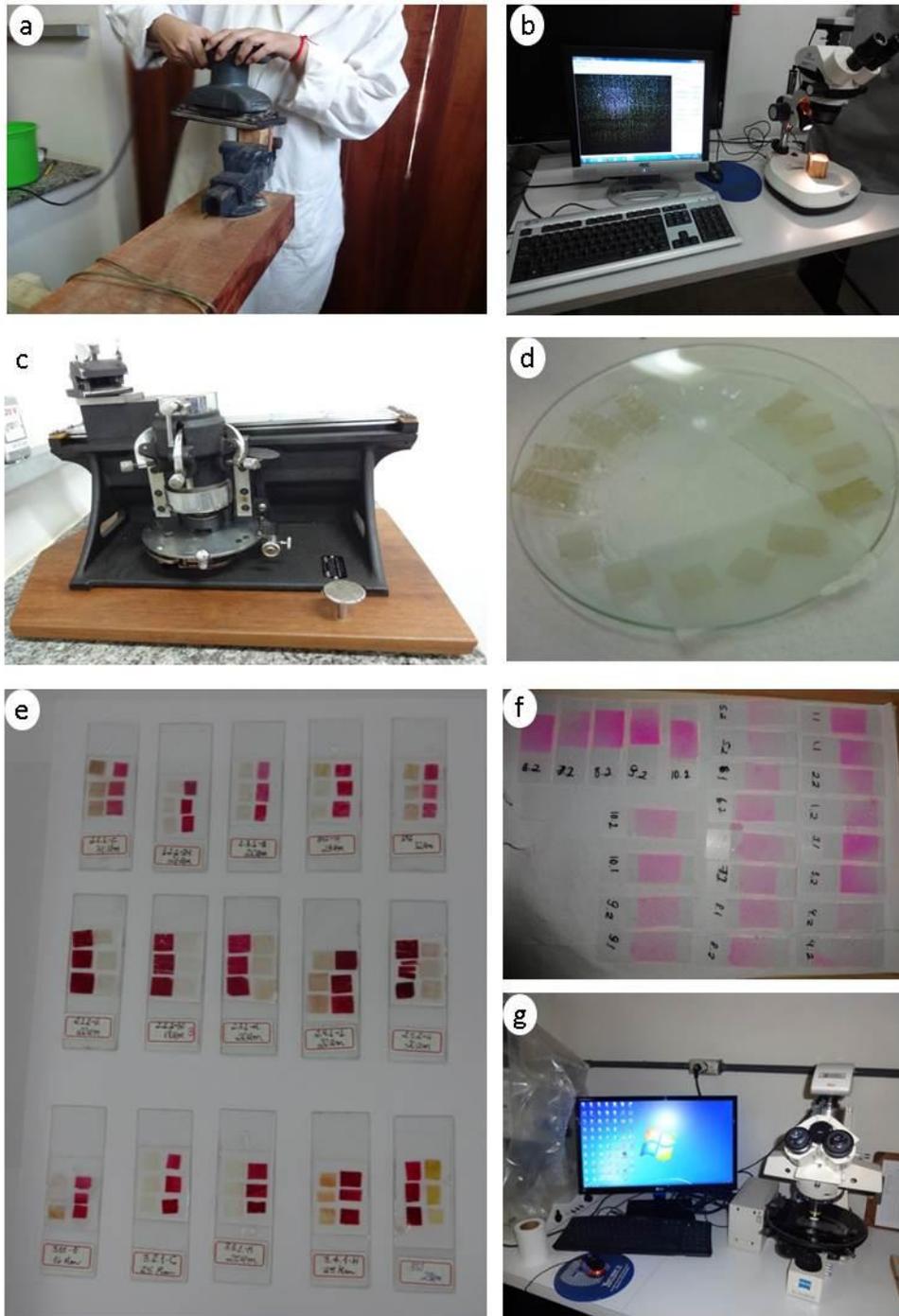


Figura 5 - Preparo de material e análise macroscópica e microscópica. a) Amostra sendo lixada com lixadeira orbital, marca SSP by Makita, 180W, modelo MBO372; b) Amostra sendo fotografada em Lupa e utilizando o software Belview; c) micrótomo utilizado para o corte das amostras; d) Utilização de papel de boca sobre as amostras para conter dobras; e) Lâminas permanentes das espécies; f) Lâminas provisórias com amostras de macerado; g) microscópio Zeiss, modelo AXIOSKOP, com câmera digital Leica, modelo EC3, ligada ao computador, o qual detinha o software Leica Application Suite versão 1.7.0

Foram analisadas as dimensões e frequências dos vasos, espessura e comprimento de parede de fibras, lúmen, espessura e comprimento das células de raio, nº de raios por milímetro quadrado e abertura das pontuações, calculando-se a fração parede, coeficiente de rigidez e índice de Runkel.

### 3.6 Caracterização físico-mecânica das madeiras

Os ensaios físico-mecânicos foram realizados na Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA localizada em Santarém-PA. Foram feitos os testes físicos de densidade aparente, densidade básica, retratibilidade total, linear e volumétrica, e os ensaios mecânicos de flexão estática, compressão paralela e dureza Janka.

Para o preparo dos corpos de prova dos testes foram seguidas as diretrizes estabelecidas pela norma NBR 7190 (ABNT, 1997), sendo confeccionados em diferentes dimensões, conforme o teste realizado, de modo a obter 10 amostras por espécie para a realização de cada teste (Tabela 1).

Tabela 1- Dimensões e quantidade dos corpos de provas produzidos conforme o ensaio realizado

| Ensaio físico-mecânico      | Dimensões (cm) | Quantidade de amostras por espécie |
|-----------------------------|----------------|------------------------------------|
| Densidade e retratibilidade | 2 x 3 x 5      | 10                                 |
| Compressão paralela         | 5 x 5 x 15     | 10                                 |
| Dureza Janka                | 5 x 5 x 15     | 10                                 |
| Flexão estática             | 5 x 5 x 115    | 10                                 |

#### 3.6.1 Massa específica e comportamento dimensional

Primeiramente os corpos-de-prova, ainda saturados, foram mantidos imersos em água até acusarem massa constante. Após este procedimento, eram registrada a massa, com o auxílio de uma balança semi-analítica Bel, modelo S-3102, com 0,01g de sensibilidade; e mensuradas as dimensões nas seções radial, tangencial e longitudinal, com o auxílio de um paquímetro digital Vonder, modelo PD-151, de 0,01mm. Na sequência as amostras foram colocadas em estufa (marca Nova Etica, Modelo NE-6894), regulada a uma temperatura de  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ , permanecendo nessa condição até que a massa dos corpos-de-prova ficasse constante, afim de possibilitar o cálculo de umidade com base nas diferenças do teor de umidade, massa específica e comportamento dimensional da madeira após secagem.

A massa específica foi obtida pela razão entre a massa seca e o volume saturado (Eq. X).

$$ME = \frac{Ms}{V_{st}}$$

Onde: ME = Massa específica, Ms= Massa seca e, Vst = Volume saturado

A massa específica aparente é definida pela razão entre a massa e o volume dos corpos-de-prova a 12% de umidade:

$$Map = \frac{M_{12}}{V_{12}}$$

A massa seca é determinada mantendo-se os corpos-de-prova em estufa a 103°C até que a massa do corpo-de-prova permaneça constante. O volume saturado é determinado em corpos-de-prova submersos em água até atingirem peso constante

Com os valores obtidos para massa seca (Mo), volume seco (Vo), determinou-se as seguintes relações para densidade:

1- Densidade anidra (D<sub>0</sub>), em g/cm<sup>3</sup>, dada pela relação:

$$D_0 = \frac{M_0}{V_0}$$

Com os dados de massa úmida (Mu) na umidade x e volume saturado (Vst), obteve-se a massa específica aparente (Mea), em g/cm<sup>3</sup> dada pela equação x:

$$Mea = \frac{Mu}{V_{st}}$$

Ademais, a umidade da madeira foi obtida pela equação x:

$$U\% = \frac{M_u - M_0}{M_0} \times 100$$

Onde:

U= Umidade na base de massa seca (%);

Mu= Massa úmida da madeira (g);

Mo= Massa anidra da madeira (g).

### 3.6.2 Ensaios mecânicos

Para a realização dos mecânicos, as amostras foram repassadas à câmara de climatização até que atingissem um TUE de 12%, permanecendo empilhadas de forma a favorecer a ventilação, até que o teor de umidade fosse homogêneo.

O controle de umidade das amostras foi realizado diariamente em todas as amostras selecionadas e identificadas, sendo posteriormente pesadas em balança digital, e os valores plotados em tabelas, com observação até estabilização do teor de umidade.

Os ensaios realizados foram flexão estática, compressão paralela e dureza Janka, sendo estes executados com o auxílio de a máquina de ensaio universal EMIC, modelo DL30000 (Figura 7), com uma carga máxima de até 30.000kg, possuindo um software o qual proporciona dados de carga máxima, tensão e deslocamento do material.

Ressalta-se que antes à realização dos testes, as amostras foram mensuradas com o auxílio de um paquímetro digital 200mm, de acordo com os planos direcionais, quantificando altura e espessura para a obtenção de área, além de estimar a carga máxima a ser aplicada durante o ensaio e, observação da direção dos anéis de crescimento, visando informações a serem adicionadas ao software da máquina, para então o ensaio ser executado. Posteriormente, as amostras foram submetidas à estufa com 105°C, objetivando controle de umidade.

#### **Flexão estática**

O ensaio ocorreu na face tangencial da amostra sendo que, a força exercida pelo impacto da flecha na amostra gerou o módulo de elasticidade, expresso na forma de um gráfico proporcionado pelo software do equipamento, fornecendo também a carga aplicada em Megapascal (MPa) e o deslocamento em milímetro (mm) do material.

A flecha exerceu uma carga com velocidade de 10MPa/min de maneira constante até a ruptura do material. Durante a realização do ensaio, permaneceu abaixo da amostra um relógio comparador digital, o qual mede a deformação real à partir do deslocamento da peça visando a obtenção do limite de proporcionalidade

#### **Dureza janka**

O ensaio iniciou com a esfera de 1cm<sup>2</sup> exercendo uma força em 6 determinações, realizadas nas faces da peça. O carregamento foi crescente até que a esfera penetrasse a uma profundidade igual ao seu raio, em um período de 1 min, de forma que houve duas penetrações da esfera nas faces tangencial e radial e, uma penetração em cada seção

transversal, com carga máxima estimada em 8000kgf para a espécie *Protium apiculatum*, 2000kgf para *Bixa arborea* e 10000Kgf para a espécie *Rinorea guianensis*.

### Compressão paralela

O teste foi realizado nas extremidades do corpo de prova, com uma velocidade de carga de 0,6mm/min e carga máxima variando por espécie, de 10000kgf para *Protium apiculatum* e 5000kgf para *Bixa arborea* e 15000Kgf para *Rinorea guianensis*, sendo efetuado de forma contínua até a ruptura do material. Para determinação do módulo de elasticidade foi utilizado um extensômetro, fixados por meio de duas cantoneiras metálicas acopladas no corpo-de-prova, com distância nominal de 10 cm entre as duas linhas de contato.

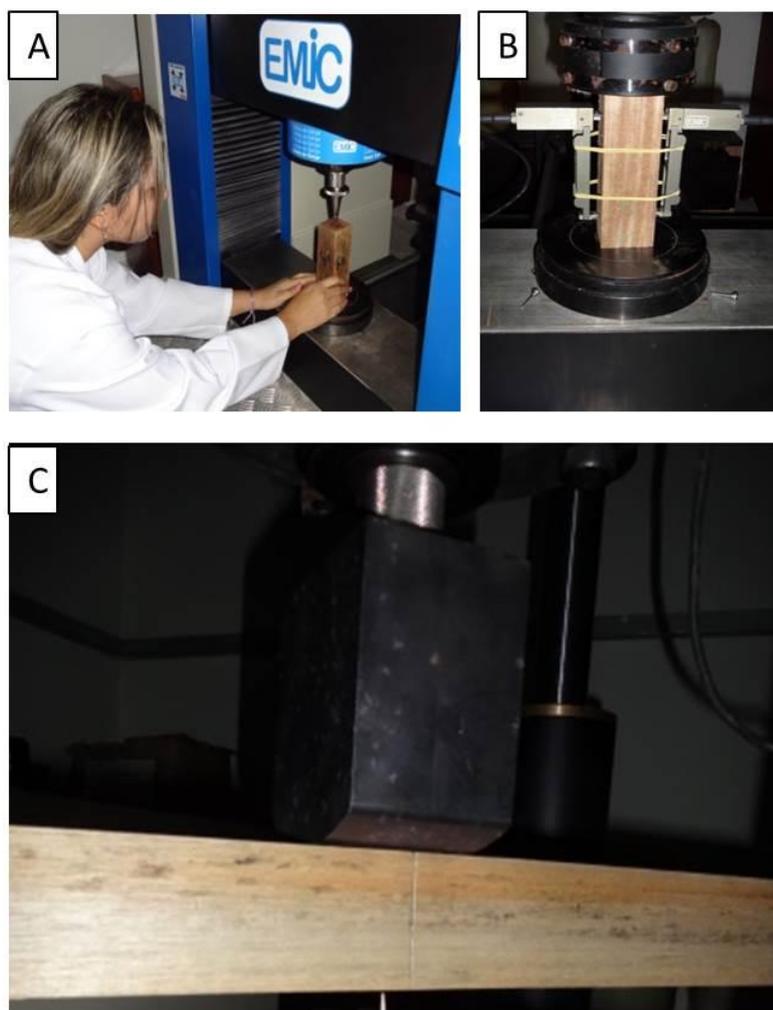


Figura 7 - Ensaio mecânico. a) Ensaio de Dureza Janka; b) Ensaio de compressão paralela com extensores; c) Ensaio de flexão estática

### 3.7 Metodologia de secagem

Das régua anteriormente retiradas dos pranchões foram retirados os corpos de provas para o ensaio de secagem drástica, massa específica e umidade inicial (devido a metodologia aplicada), adaptando-se a metodologia proposta por Jankowsky (2009). Tanto o esquema de corte das amostras como suas dimensões constam da Figura 8.

A metodologia utilizada neste estudo é baseada na hipótese da relação entre o comportamento de pequenas amostras submetidas à condições severas de secagem e o seu comportamento durante o processo de secagem convencional, a qual acompanha a evolução dos defeitos e a perda de massa por mensurações periódicas até que o teor de umidade atinja 5%.

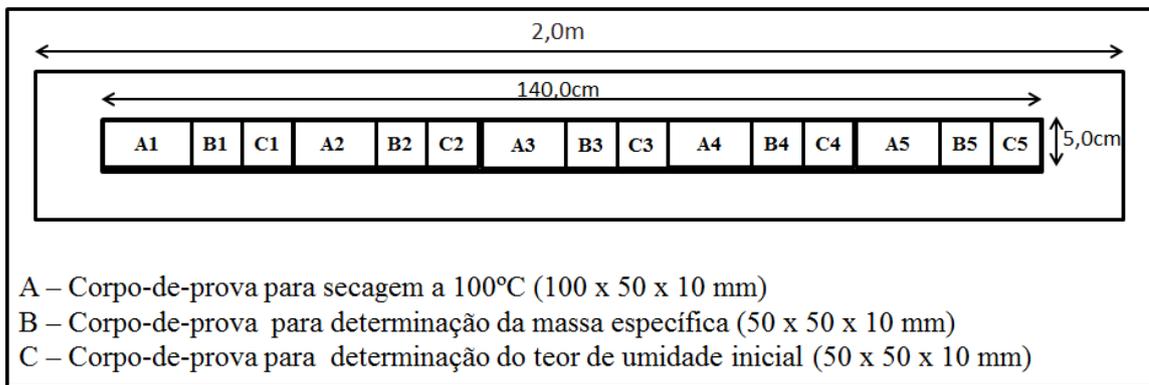


Figura 8 - Esquema de confecção e dimensão dos corpos-de-prova

As amostras foram colocadas em estufa (marca Fanem, modelo 315SE) com temperatura regulada para 100,0°C. A intervalos periódicos de uma hora registra-se a massa das amostras e as rachaduras de topo (maior rachadura em comprimento e largura), até que o teor de umidade seja igual ou inferior a 5,0%. As rachaduras foram mensuradas com o auxílio de paquímetro (comprimento) e com o auxílio de um calibre de espessura, composto por 20 lâminas de 0.05 a 1.00mm (largura).

Na sequencia a temperatura da estufa foi ajustada para 103,0°C ( $\pm 2$ ) para obtenção da massa seca dos corpos de prova. Finalizando o ensaio, as amostras foram seccionadas transversalmente para a avaliação de rachaduras internas e do colapso (Figura 9).

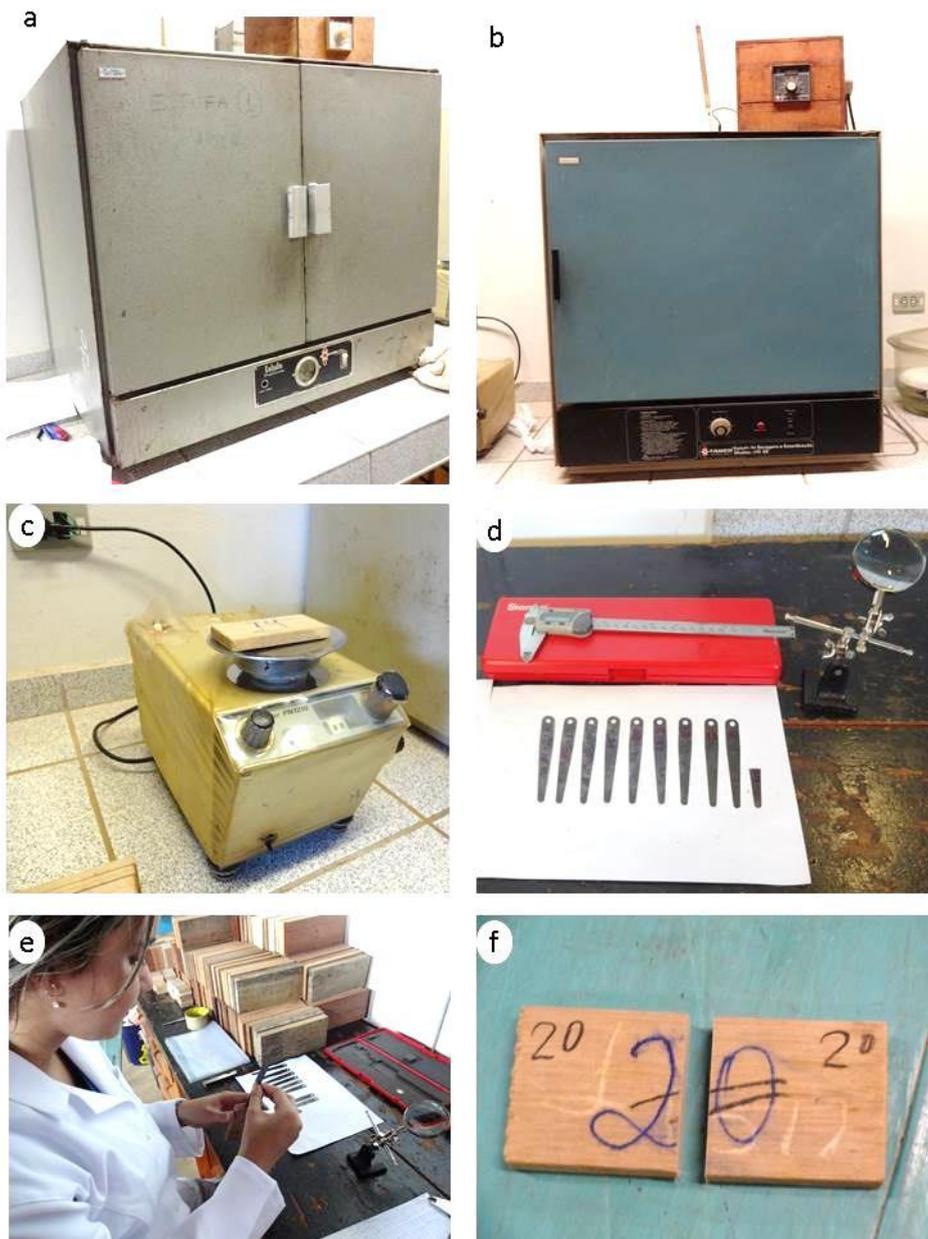


Figura 9 - a) e b) Estufas de secagem e esterilização com circulação de ar fechada; c) Balança de precisão modelo PN1210; d) Paquímetro, lupa e calibrador de espessura utilizados para análise de rachadura e colapso; e) Aferição de espessura de rachadura; f) Amostra seccionada após ensaio de secagem para a aferição de colapso e rachadura interna

Todos estes valores foram registrados em uma planilha contendo métodos de regressão múltipla, a partir da qual são obtidos os valores de Temperatura inicial ( $T_i$ ), Temperatura Final ( $T_f$ ), Potencial de Secagem (PS), além das curvas de secagem para cada amostra; permitindo a elaboração dos programas de secagem para cada uma das espécies. A metodologia seguida neste ensaio é detalhadamente descrita por Jankowsky (2009), incluindo a formatação da planilha eletrônica (em MS Excel) e as equações da regressão múltipla.

Os parâmetros do programa de secagem ( $T_i$ ,  $T_f$  e  $PS$ ) são estimados com o auxílio das equações 2, 3 e 4;

$$T_i = 27,9049 + 0,7881(T_2) + 419,0254(V_1) + 1,9483(R_2) \quad (2)$$

$$T_f = 49,2292 + 1,1834(T_2) + 273,8685(V_2) + 1,0754(R_1) \quad (3)$$

$$PS = 1,4586 - 30,4418(V_3) + 42,9653(V_1) + 0,1424(R_3) \quad (4)$$

Onde  $T_2$  = tempo de secagem, em horas, da Umidade inicial até 30%;  $V_1$  = velocidade de secagem, em  $g/cm^2.h$ , da Umidade inicial até 5%;  $V_2$  = velocidade de secagem, em  $g/cm^2.h$ , da Umidade inicial até 30%;  $V_3$  = velocidade de secagem, em  $g/cm^2.h$ , de 30% até 5%;  $R_1$  = índice da rachadura de topo no intervalo de umidade entre a Umidade inicial e 5%;  $R_2$  = índice da rachadura de topo no intervalo de umidade entre a Umidade inicial e 30%;  $R_3$  = índice da rachadura de topo no intervalo de umidade entre 30% e 5% (JANKOWSKY, 2009).

### 3.8 Análise estatística

Para a análise dos ensaios físicos-mecânicos, foi utilizado o software SISVAR, versão 5.3, sendo empregado o teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ) e as interações foram detectadas como significativas pelo teste de F ( $p \leq 0,05$ ).

Foram realizadas análises de correlação canônica para verificar as associações existentes entre o grupo de características anatômicas (grupo I) com as características físicas da madeira (grupo II), entre o grupo de características anatômicas (grupo I) e o grupo de características mecânicas (grupo III), e por fim, entre o grupo de características anatômicas (grupo I) com as características de secagem da madeira (grupo IV). Para análises utilizaram-se as matrizes de correlação entre as características mencionadas, utilizando-se o programa R, versão 3.0.2, e o modelo inteiramente casualizado.

O primeiro grupo representa as variáveis independentes (X) e os demais grupos as dependentes (Y). Foram estimadas as correlações entre as variáveis originais e suas respectivas variáveis estatísticas canônicas e as cargas canônicas cruzadas que representam a correlação entre uma variável original de um determinado grupo e a variável estatística canônica do outro grupo. Assim, foram determinadas as 3 funções canônicas ou 3 pares de variáveis estatísticas canônicas de maior correlação.

Foi utilizado o teste multivariado de significância Pillai-Bartlett para analisar a significância das raízes canônicas. A quantidade de variância explicada, ou seja, o percentual de variância na variável estatística canônica dependente que pode ser explicada pela variável estatística canônica independente, e vice-versa, foi determinada elevando-se ao quadrado a correlação canônica ( $R^2$  canônico). Já a quantidade de variância compartilhada explicada entre

as variáveis observadas dependentes e independentes e as suas respectivas variáveis estatísticas canônicas foi determinada elevando-se ao quadrado as cargas canônicas. O mesmo foi realizado para as cargas canônicas cruzadas com o intuito de estimar a variância compartilhada explicada entre a variável dependente ou independente observada com a variável estatística canônica oposta (PROTASIO, et. al., 2012).

Os procedimentos utilizados para as análises estatísticas foram baseados nos trabalhos de diversos autores (PROTASIO, et. al., 2012; TRUGILHO *et al.*, 2003).

A análise de correlação canônica oferece uma forma simples de diminuir as complexidades acerca das relações entre os dois grupos de variáveis. Contudo, há problemas quanto à interpretação das soluções canônicas, devido ao fato da análise identificar várias correlações que, associam as variáveis usadas de uma maneira heterogênea, todavia estas sejam estatisticamente significativas e, ocasionando uma difícil interpretação. Isto se deve ao fato de que fatores canônicos são representados por funções lineares que podem não refletir partes significativas da variância dos domínios de medidas (TRUGILHO *et. al.*, 2003).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o abate de *Protium apiculatum* foram observados exsudatos em forma de goma e ocorrência de rachaduras em algumas pranchas. A espécie *Bixa arborea* também apresentou rachaduras de topo durante o desdobro, sendo que algumas rachaduras prolongaram-se do topo até o centro da peça e outras, de uma extremidade à outra da peça; evidenciando a presença de tensões de crescimento nas toras.

A espécie *Rinorea guianensis* exibiu o desenho central na forma de uma flor em seu cerne, conforme característica inerente à família das violáceas, e apresentou também madeira dura ao corte. Todas as toras desta espécie apresentaram oco, ocorrendo tanto nas da base quanto nas toras da sequência do fuste. No campo foram observados cupinzeiros na base ou próximo à árvore.

### 4.1 Anatomia da madeira

#### 4.1.1 Acariquarana (*Rinorea guianensis* Aubl.)

A espécie apresentou coloração castanho-amarelado, com tendências a manchas de coloração avermelhada que forma um desenho característico em forma de flor, no centro da tora. Indistinação entre cerne e alburno. Textura fina. Cheiro e gosto indistintos. Grã direita. Parênquima axial indistinto. Poros invisíveis a olho nu, visíveis sob lente de 10x, com dificuldade. Possuem distribuição difusa uniforme, muito pequenos, com grupamentos radiais de 2 a 4 vasos. Raios não estratificados, muito finos, invisíveis a olho nu, visível sob lente de 10x com dificuldade. Anéis de crescimento pouco distintos (Figura 10).

A Acariquarana apresenta lenho com porosidade difusa, dispersos uniformemente ao longo dos anéis de crescimento, sendo este último pouco distinto a olho nu. Vasos muito grandes e compridos, solitários a múltiplos radiais, muito abundantes, sem obstrução, sem estratificação, com presença de apêndices, pontoação intervascular alterna, guarnecida, pequena, com contorno poligonal, classificada como muito pequena. Fibras libriformes, de parede grossa e compridas, tendo dimensão média de 8,63µm como apresentado na Tabela 2, não septadas. Parênquima axial paratraqueal escasso. Raios fusionados, heterogêneos procumbentes a quadrados, em sua maioria multisseriados de 2 a 4 células de largura, numerosos. Presença de cristais parenquimáticos romboédricos de oxalato em câmaras. O índice de Runkel apresentou o valor de 2,5, sendo classificada no grupo V, a espécie não deve ser usada para papel.

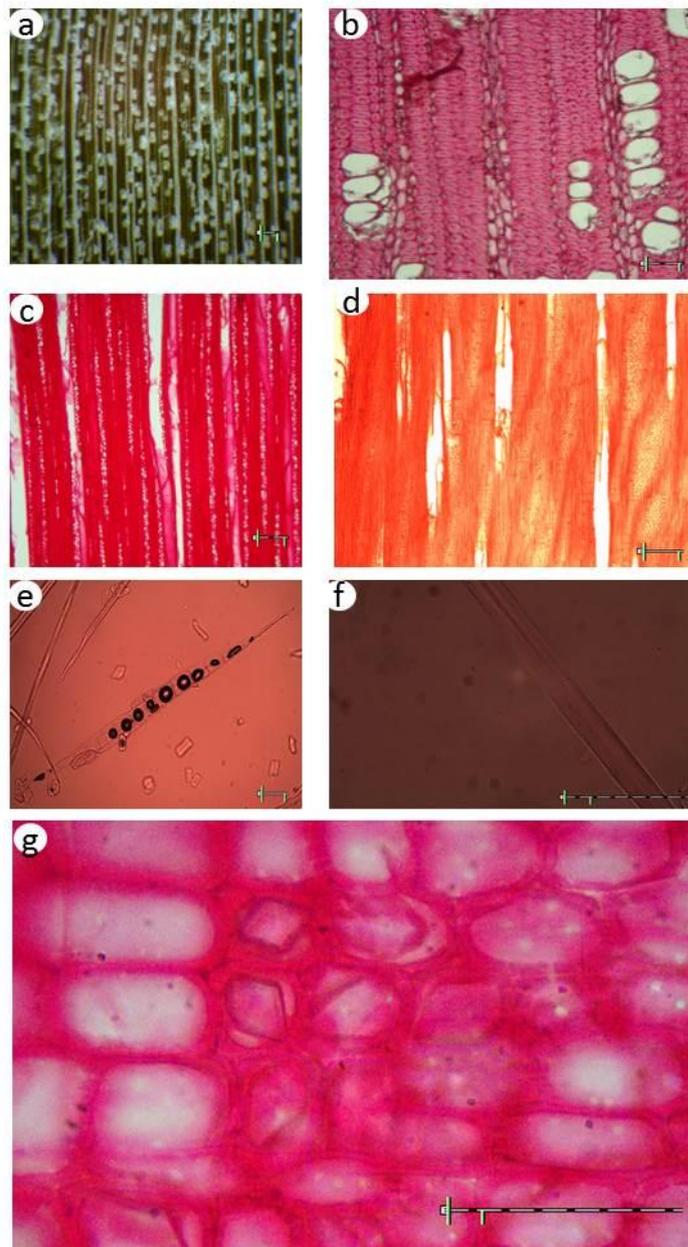


Figura 10 - *Rinorea guianensis* – a) Fotografia macroscópica Transversal; Fotomicrografias ilustrando o plano transversal (b), longitudinal tangencial (c), longitudinal radial (d), além de outros elementos como vaso (e), fibra (f) e cristais de oxalato (g). Escala: barra = 100  $\mu\text{m}$

Tabela 2 - Ficha biométrica – *Rinorea guianensis* (Acariquarana)

| Características anatômicas quantitativas | µm                                      |                 |                       |               |
|--|---|-----------------|-----------------------|---------------|
|  | Media                                   | Máximo          | Mínimo                | Desvio Padrão |
| Comprimento Fibra                        | 1879,69                                 | 3124,13         | 1138,41               | 347,60        |
| Comprimento vaso                         | 817,82                                  | 1168,66         | 510,59                | 163,48        |
| Largura vaso                             | 63,93                                   | 117,32          | 30,91                 | 14,50         |
| Diâmetro pontuação                       | 2,60                                    | 4,02            | 1,61                  | 0,58          |
| Altura do raio                           | 1310,87                                 | 2463,73         | 561,47                | 435,29        |
| Características anatômicas qualitativas  | IAWA                                    | Categoria       | Valor médio observado |               |
| Número de raios/mm                       | > 12                                    | Muito numerosos | 12,98                 |               |
| Número de células do raio (largura)      | De 1 a 3                                | Finos           | 2,79                  |               |
| Espessura da parede da fibra             | L<P                                     | Grossa          | —                     |               |
| Índice de Runkel                         |   |                 | 2,05                  |               |
| Grupos de Runkel                         | Grupo V - Não deve ser usada para papel |                 |                       |               |
| Coefficiente de rigidez (%)              |   |                 | 32,81                 |               |
| Fração parede (%)                        |   |                 | 67,19                 |               |

Legenda: PQ=Pouquíssimo abundantes; PC=Pouco abundantes; A=Abundantes; L>>P=Lume muito maior que a largura da parede; L>P=Lume maior que a largura da parede; L<P=Lume menor que a largura da parede; L<<P=Lume muito menor que a parede.

Comparando a espécie *R. guianensis* com as características anatômicas da família das violáceas apresentadas por Metcalfe e Chalk (1950), pode-se observar características semelhantes entre estas, apresentando vasos pequenos e numerosos em sua maioria solitários, as vezes com anéis semi-porosos, perfuração de placa simples, em certas vezes alternas, pontuação da célula de raio frequentemente simples, de comprimento médio a longo; em alguns gêneros, os raios podem conter de 4 a 10 células de largura, frequentemente compostos de células quadradas e eretas, unisseriados a bisseriados. Fibras septadas, pequenas a médias, e algumas vezes muito longas, com paredes espessas. Parênquima ausente ou esparso, quando presente paratraqueal e algumas vezes difuso. Contém também numerosos cristais individuais.

#### 4.1.2 Breu (*Protium apiculatum* Swart.)

A espécie apresentou coloração castanho-claro, textura média com cheiro e gosto imperceptível. Poros/vasos visíveis sob lente de 10x, solitários a múltiplos de até 6, sem obstrução, com grupamentos radiais a tangenciais com distribuição difusa uniforme. Grã entrecruzada. Raios não estratificados, não visíveis a olho nu, visíveis sob lente de 10x com dificuldade, raios muito finos. Anéis de crescimento distintos, individualizados por zonas

mais escuras, presença de vasos com menores dimensões. Canais secretores ausentes (Figura 11).

O Breu apresenta lenho com porosidade difusa, dispersos uniformemente ao longo dos anéis de crescimento sendo este último, visivelmente distinto. Vasos grandes, muito abundantes, solitários à múltiplos radiais, sem estratificação, com presença de apêndices, pontuação intervascular alterna, guarnecida, classificada como pequena, com contorno poligonal. Fibras libriiformes, de parede média, septadas. Parênquima axial paratraqueal vasicêntrico. Raios fusionados, heterogêneos procumbentes a quadradas, em sua maioria multisseriados, numerosos. Cristais parenquimáticos ausentes e, de acordo com o índice de Runkel a espécie foi classificada como pertencente ao grupo III – Boa para papel, apresentando um índice de 0,78 (Tabela 3).

Tabela 3 - Ficha biométrica – *Protium apiculatum* (Breu)

| Características anatômicas quantitativas | µm        |                  |                            |               |
|--|-----------|------------------|----------------------------|---------------|
|  | Media     | Máximo           | Mínimo                     | Desvio Padrão |
| Comprimento Fibra                        | 889,69    | 1395,94          | 564,89                     | 157,02        |
| Comprimento vaso                         | 367,55    | 732,60           | 162,36                     | 106,76        |
| Largura vaso                             | 142,75    | 185,76           | 59,05                      | 25,87         |
| Diâmetro pontuação                       | 6,12      | 8,34             | 4,25                       | 1,02          |
| Altura do raio                           | 276,01    | 160,22           | 511,38                     | 68,97         |
| Características anatômicas qualitativas  | IAWA      | Categoria        | Valor médio observado      |               |
| Número de raios/mm                       | De 4 a 15 | Muito numerosos  | 8,69                       |               |
| Número de células do raio (largura)      | De 1 a 3  | Finos            | 1,26                       |               |
| Espessura da parede da fibra             | L<3xP     | De fina a grossa | —                          |               |
| Índice de Runkel                         |           |                  | 0,78                       |               |
| Grupos de Runkel                         |           |                  | Grupo III - Boa para papel |               |
| Coeficiente de rigidez (%)               |           |                  | 56,04                      |               |
| Fração parede (%)                        |           |                  | 43,96                      |               |

Legenda: PQ=Pouquíssimo abundantes; PC=Pouco abundantes; A=Abundantes; L>>P=Lume muito maior que a largura da parede; L>P=Lume maior que a largura da parede; L<P=Lume menor que a largura da parede; L<<P=Lume muito menor que a parede.

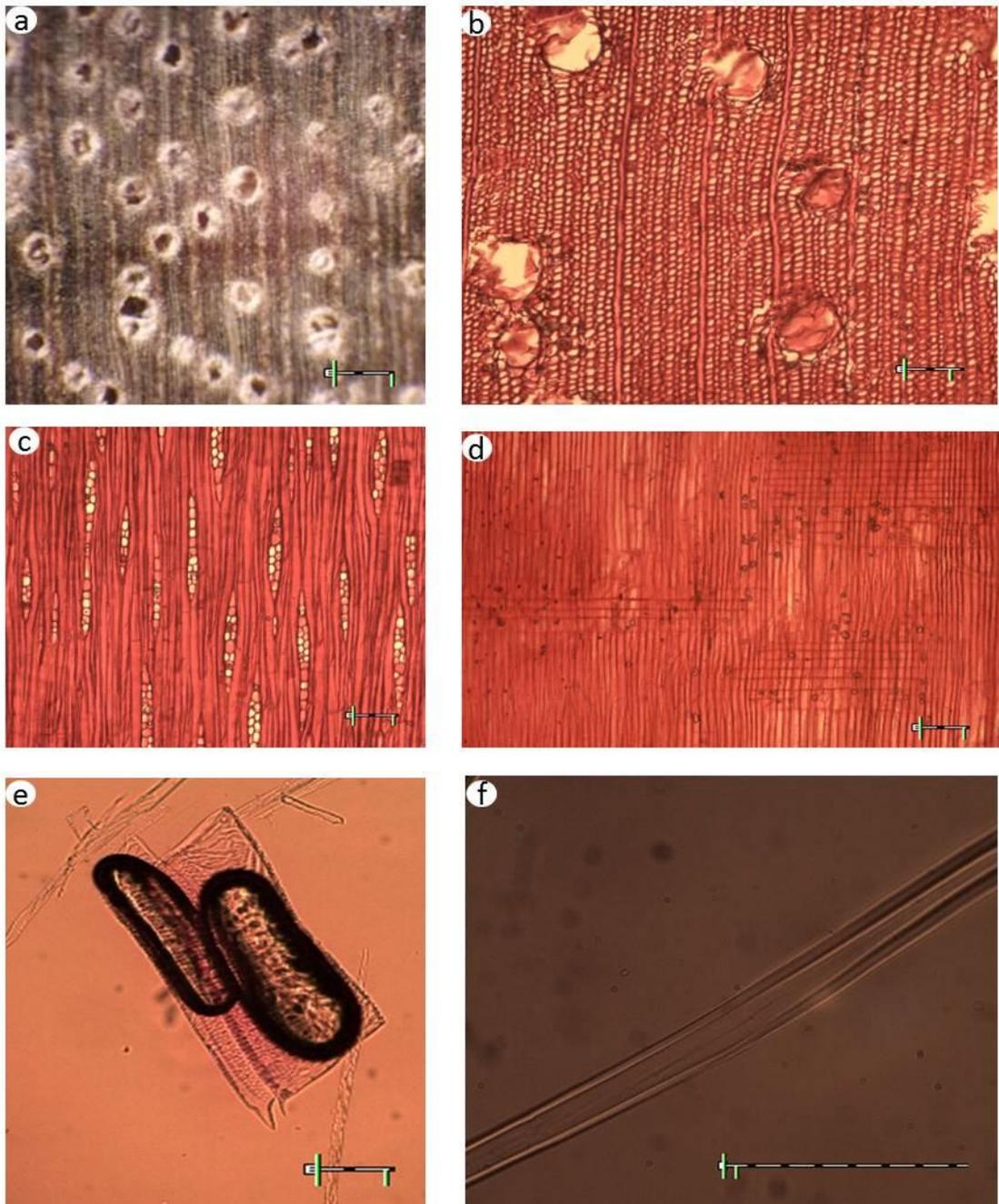


Figura 11- *Protium apiculatum* – a) Fotografia macroscópica transversal; Fotomicrografias ilustrando o plano transversal (b), longitudinal tangencial (c), longitudinal radial (d), além de outros elementos estruturais como vaso (e) e fibra (f). Escala: barra = 100  $\mu\text{m}$

Analisando os caracteres anatômicos de *P. apiculatum* nota-se que há semelhanças entre as espécies da família Burseraceae, onde os vasos são pequenos a médios, com pontoação simples e pontoação intervascular alterna, parênquima paratraqueal, variando de escasso a vasicêntrico e em alguns casos difuso. Raios com 2 a 4 células de largura com poucos unisseriados, heterogêneos, compostos de células procumbentes, com células largas e em algumas espécies contendo cristais individuais. Fibras de paredes médias, no gênero *Protium* septadas com pequenas pontoações simples de largura média a moderadamente grande. Algumas vezes, com camada mucilaginosa e outras vezes, contendo goma. Canais intervasculares largos e canais traumáticos em indivíduos do gênero *Protium* (METCALFE & CHALK, 1950).

Para Mainieri (1983), a espécie *Protium heptaphyllum*, do mesmo gênero de *Protium apiculatum*, apresenta parênquima indistinto, poros visíveis sob lente, pequenos, numerosos, solitários e múltiplos, vazios, raios visíveis sob lente, camadas de crescimento indistintas, cerne bege-escuro; sendo que Loureiro (1977) relata que, a mesma espécie possui grã regular, textura média, cheiro e gosto indistintos; parênquima indistinto; poros numerosos, pequenos, solitários. Raios visíveis sob lente, finos e numerosos. Camadas de crescimento indistintas.

Comparando com a espécie de mesmo gênero, *Protium altisonii* descrita por Trevizor (2011), a espécie *P. apiculatum* apresentou características análogas, como madeira de densidade baixa a média, textura média, cheiro indistinto; camada de crescimento pouco distinta, vasos visíveis sob lente de 10x, difusos, solitários e múltiplos, vazios, raios muito finos, visíveis sob lente de 10x, sem estratificação. Diferindo quanto ao tipo de grã que no caso de *P. altisonii* é direita e quanto ao parênquima axial que é descrito como indistinto.

#### **4.1.3 Urucu da mata (*Bixa arborea* Huber.)**

Madeira com coloração castanho-clara quando seca, leve, com cerne e alborno indistintos, lenho tardio pouco distinto, de coloração castanho-escuro. Brilho médio. Textura grossa. Grã direita. Cheiro e gosto indistintos. Poros/vasos visíveis a olho nu, numerosos, com distribuição difusa, predominantemente múltiplos, de dois a três, em sua maioria com grupamentos radiais, sem obstrução. Raios invisíveis a olho nu, visível sob lente de 10x com dificuldade, estratificados, poucos e finos, na face radial são pouco contrastados, muito finos. Anéis de crescimento distintos, individualizados por zonas fibrosas, com presença de vasos com menores dimensões (Figura 12).

O urucu da mata apresenta lenho com porosidade difusa, dispersos uniformemente ao longo dos anéis de crescimento sendo este último, pouco distinto. Vasos grandes, abundantes, sem presença de apêndices, pontoação intervacular alterna, guarnecida, com contorno poligonal, classificada como pequena. Fibras libriformes, de parede fina, septadas. Parênquima axial apotraqueal difuso. Raios fusionados, heterogêneos procumbentes a quadrados, multisseriados de 1 a 3 células de largura, numerosos. Cristais parenquimáticos ausentes e índice de Runkel 0.37, classificada no grupo II – muito boa para papel (Tabela 4).

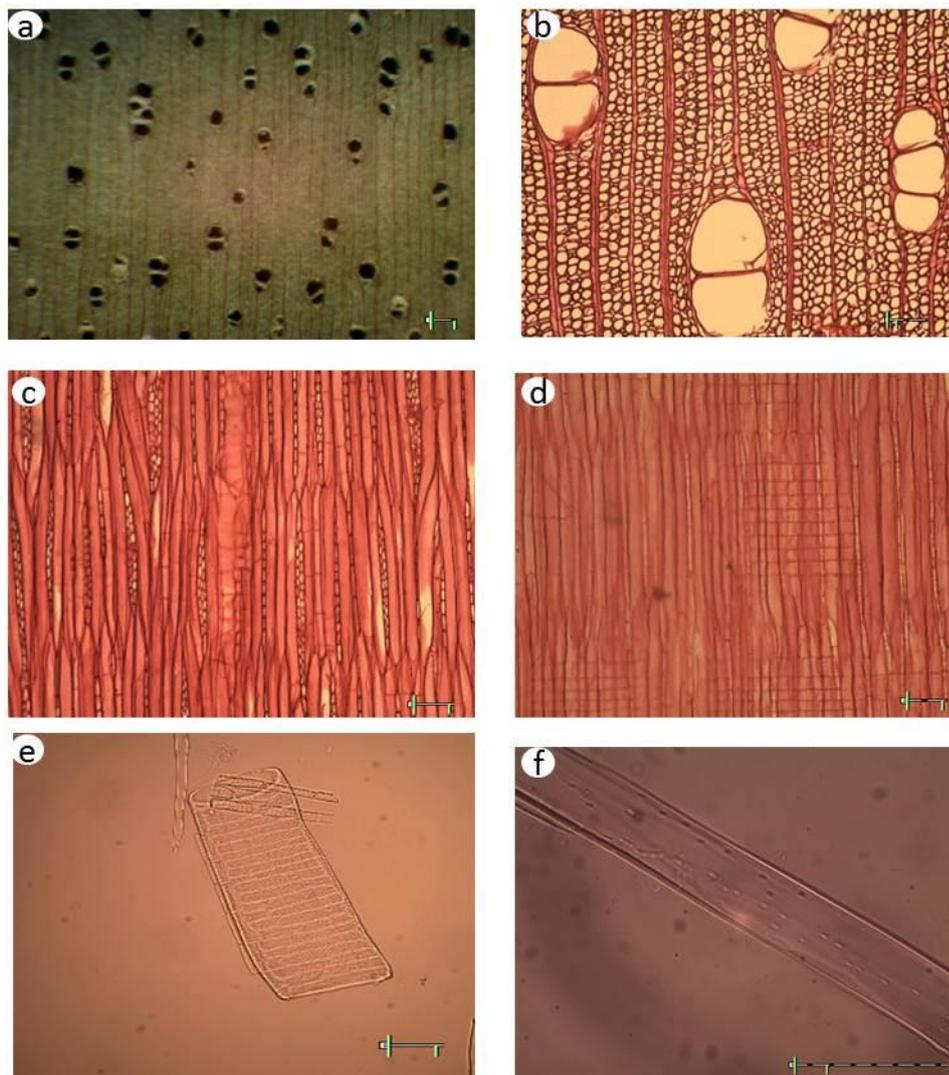


Figura 12 - *Bixa arborea* – a) Fotografia macroscópica transversal; Fotomicrografias ilustrando o plano transversal (b), longitudinal tangencial (c), longitudinal radial (d), além de outros elementos estruturais como vaso (e) e fibra (f). Escala: barra = 100  $\mu$ m.

Segundo, Metcalfe e Chalk (1950), as espécies da família Bixaceae, como a *Bixa arborea*, apresentam vasos moderadamente pequenos a médios, solitários a múltiplos radiais de 2 a 3 células, numerosos, com perfuração simples, pontoação intervascular alterna, parênquima difuso, raios unisseriados a multisseriados com 1 a 3 células de largura, heterogêneo, células procumbentes e, fibras libriformes, pequenas e poucas.

A espécie *B. arborea* apresentou característica similar à espécie descrita por Fedalto, et. al. (1989), onde apresenta cerne e alburno indistintos, anéis de crescimento indistinto ou pouco distintos, brilho médio, grã direita, textura média, poros visíveis a olho nu, pouco numerosos, distribuição difusa uniforme, múltiplos de 2 a 3, apresentando agrupamentos tangenciais, irregulares e radiais, solitários com placa de perfuração simples, parênquima axial apotraqueal difuso e também há paratraqueal escasso; raios invisíveis a olho nu, visíveis sob lente de 10x com dificuldade, poucos, finos, estratificados, heterogêneos, multisseriados, na maioria com duas células de largura, poucos unisseriados; anéis de crescimento levemente individualizados por zonas mais escuras.

Tabela 4 - Ficha biométrica – *Bixa arborea* (Urucu da mata)

| Características anatômicas quantitativas | µm        |                 |                                 |               |
|--|-----------|-----------------|---------------------------------|---------------|
|  | Media     | Máximo          | Mínimo                          | Desvio Padrão |
| Comprimento Fibra                        | 939,31    | 1377,40         | 593,56                          | 149,59        |
| Comprimento vaso                         | 408,26    | 498,96          | 312,13                          | 47,64         |
| Largura vaso                             | 215,87    | 313,27          | 123,23                          | 52,67         |
| Diâmetro pontuação                       | 4,10      | 6,69            | 2,19                            | 0,87          |
| Altura do raio                           | 331,54    | 188,79          | 792,00                          | 80,94         |
| Características anatômicas qualitativas  | IAWA      | Categoria       | Valor médio observado           |               |
| Número de raios/mm                       | De 4 a 15 | Muito numerosos | 8,69                            |               |
| Número de células do raio (largura)      | De 1 a 3  | Finos           | 1,26                            |               |
| Espessura da parede da fibra             | L>3xP     | Fina            | —                               |               |
| Índice de Runkel                         |           |                 | 0,37                            |               |
| Grupos de Runkel                         |           |                 | Grupo II - Muito boa para papel |               |
| Coefficiente de rigidez (%)              |           |                 | 73,15                           |               |
| Fração parede (%)                        |           |                 | 26,85                           |               |

Legenda: PQ=Pouquíssimo abundantes; PC=Pouco abundantes; A=Abundantes; L>>P=Lume muito maior que a largura da parede; L>P=Lume maior que a largura da parede; L<P=Lume menor que a largura da parede; L<<P=Lume menor que a parede.

#### 4.2 Caracterização das propriedades físicas da madeira

Conforme poderia ser esperado, as três espécies apresentaram diferenças entre si para todas as propriedades físicas analisadas (Tabela 5). A madeira de Acariquarana é a mais pesada e com maiores valores de movimentação dimensional; ao passo que a madeira mais leve (Urucu da mata) é a que apresenta os menores valores de retratibilidade total. A madeira de Breu acusou valores intermediários em relação às outras duas espécies.

Tabela 5 - Comparações entre as propriedades físicas das espécies analisadas

| Espécies                  | Densidade |        |          | Contração (%) |        |       |        | C.A. |
|---------------------------|-----------|--------|----------|---------------|--------|-------|--------|------|
|                           | Anidra    | Básica | Aparente | Lg            | Tg     | Rd    | Vol    |      |
| <i>Rinorea guianensis</i> | 0,96a     | 0,78a  | 0,99a    | 0,60a         | 12,93a | 6,21a | 21,84a | 2,08 |
| <i>Protium apiculatum</i> | 0,56b     | 0,51b  | 0,61b    | 0,17b         | 7,44b  | 4,13b | 13,14b | 1,80 |
| <i>Bixa arborea</i>       | 0,28c     | 0,27c  | 0,32c    | 0,27c         | 5,32c  | 1,95c | 7,93c  | 2,72 |

Médias seguidas de mesma letra não apresentaram diferenças estatísticas pelo teste de Scott-Knot a 5% de significância.

Legenda: Lg – Longitudinal; Tg – Tangencial; Rd – Radial; Vol – Volumétrica; C. A. – Coeficiente de anisotropia.

Ao compararmos as características físicas das espécies estudadas com as espécies comercializadas na Amazônia (Tabela 6) podemos observar proximidades entre as propriedades físicas de densidade e contração volumétrica das espécies em estudo, o que pode preconizar então a possibilidade de utilização semelhante ao de espécies tradicionalmente comercializadas.

A espécie *Rinorea guianensis* apresenta valor de densidade básica (0,78 g/cm<sup>3</sup>) próximo aos encontrados em outras espécies, tais como *Bowdichia sp./ Diplotropies sp.*, *Roupala montana* e *Tabebuia serratifolia*, as quais apresentam densidade básica variando de 0,77 a 0,87 g/cm<sup>3</sup>. Contudo, nota-se que os valores de retratibilidade dessas espécies são menores ao da *R. guianensis*. Souza et. al. (2002), em seu livro sobre madeiras tropicais brasileiras, destaca que *Roupala montana* possui fácil trabalhabilidade e bom acabamento, com usos na construção civil, móveis e torneados, sendo sua secagem muito rápida em estufa, com tendência moderada ao encanoamento forte e ao torcimento médio.

Tabela 6 - Propriedades físicas de algumas madeiras comerciais (Sousa et al., 2002; Zenid, 2009), à 12% de umidade; comparadas às espécies do presente estudo

| Nome Comum     | Espécie                                    | Densidade Básica | Contração (%) |      |       | Coeficiente de anisotropia |
|----------------|--|------------------|---------------|------|-------|----------------------------|
|                |  |                  | Tg            | Rd   | Vol   |                            |
| Faieira        | <i>Roupala montana</i>                     | 0,77             | 12,3          | 6,3  | 18    | 1,95                       |
| Ipê            | <i>Tabebuia serratifolia</i>               | 0,87             | 10,1          | 7,4  | 18,4  | 1,36                       |
| Louro vermelho | <i>Nectandra rubra</i>                     | 0,55             | 7,9           | 3,2  | 11,9  | 2,47                       |
| Marupá         | <i>Simarouba amara</i>                     | 0,37             | 6,8           | 4,8  | 8,3   | 1,42                       |
| Sucupira       | <i>Bowdichia sp./<br/>Diploptropies sp</i> | 0,78             | 8,4           | 5,6  | 15,1  | 1,5                        |
| Sumaúma        | <i>Ceiba pentandra</i>                     | 0,29             | 5,5           | 2,7  | 9,3   | 2,04                       |
| Tamboril       | <i>Enterolobium maximum</i>                | 0,37             | 4,5           | 2,4  | 6,7   | 1,88                       |
| Tauari         | <i>Couratari oblongifolia</i>              | 0,5              | 6,6           | 4,2  | 10,9  | 1,57                       |
| Taxi           | <i>Tachigali myrmecophila</i>              | 0,57             | 7,5           | 5,2  | 11,9  | 1,44                       |
| Acariquarana   | <i>Rinorea guianensis</i>                  | 0,78             | 12,93         | 6,21 | 21,84 | 2,08                       |
| Breu           | <i>Protium apiculatum</i>                  | 0,51             | 7,44          | 4,13 | 13,14 | 1,8                        |
| Ucucu da mata  | <i>Bixa arborea</i>                        | 0,27             | 5,32          | 1,95 | 7,93  | 2,72                       |

Os valores de retração linear nos sentidos tangencial (12,93%) e radial (6,21%), assim como a retração volumétrica (21,84%) e o coeficiente anisotrópico (2,08) indicam que a madeira de *R. guaianensis* é dimensionalmente instável, o que muito provavelmente inviabilizará o seu uso na manufatura de produtos com maior valor agregado.

Para *Protium apiculatum* as contrações lineares, nos sentidos tangencial e radial foram de, respectivamente, 7,44% e 4,13%; a retração volumétrica total foi de 13,14%, e a densidade básica de 0,51g/cm<sup>3</sup>. São valores similares aos das madeiras de *Couratari oblongifolia*, *Nectandra rubra* e *Tachigali myrmecophila*, as quais possuem uma densidade variando de 0,50 a 0,57g/cm<sup>3</sup>. Contudo, analisando as contrações volumétricas das espécies citadas, observa-se que a espécie *P. apiculatum* possui, comparativamente, menores valores de retração. Considerando que o coeficiente de anisotropia de *P. apiculatum* é de 1,80, o que caracteriza a espécie com um comportamento considerado normal, é possível indicar a espécie como potencial para usos tais como móveis, componentes para construção civil e esquadrias.

Cardoso et. al. (2012), trabalhando com *Qualea dinizii* Ducke, relatou valores aproximados para as propriedades físicas, com densidade básica de  $0,55\text{g/cm}^3$  e retrações radial, tangencial e volumétrica de 5,43%, 6,88% e 11,85%, respectivamente. Os mesmos autores determinaram que a espécie possui potencial de utilização para a confecção de peças para móveis, materiais de acabamento, assim como esquadrias e instrumentos musicais.

A madeira de *Bixa arborea* é a mais leve dentre as avaliadas experimentalmente, com uma densidade básica de  $0,27\text{g/cm}^3$ , apresentando também baixos valores de retração tangencial e radial e volumétrica, respectivamente de 5,32, 1,95 e 7,93%; podendo ser equiparada à espécies de madeira leve como *Ceiba pentandra*, *Enterolobium maximum* e *Simarouba amara*. Considerando, porém que seu coeficiente anisotrópico é alto (2,72), infere-se que é uma espécie propensa a distorções a alterações de forma. O conjunto de suas características físicas desaconselham seu uso em produtos de maior valor agregado, porém tem potencial de uso para caixotaria, compensados e brinquedos.

#### **4.3 Caracterização das propriedades mecânicas da madeira**

Os resultados dos ensaios de resistência mecânica constam da Figura 13, onde se verifica que as espécies em estudo apresentaram diferenças significativas entre si. Conforme esperado, a partir das respectivas características físicas, a madeira de Acariquarana é a mais resistente e a de Urucu da mata a menos resistente, com a madeira de Breu apresentando valores intermediários.

A madeira de *Rinorea guianensis* apresentou alta resistência, com MOE de 20.287 MPa e MOR de 147,98 MPa na flexão estática, MOE de 25398MPa e MOR de 72,41 MPa na compressão paralela; e valores de dureza Janka de 109,04 e 87,19MPa nos sentidos paralelo (extremidades) e perpendicular (faces), respectivamente.

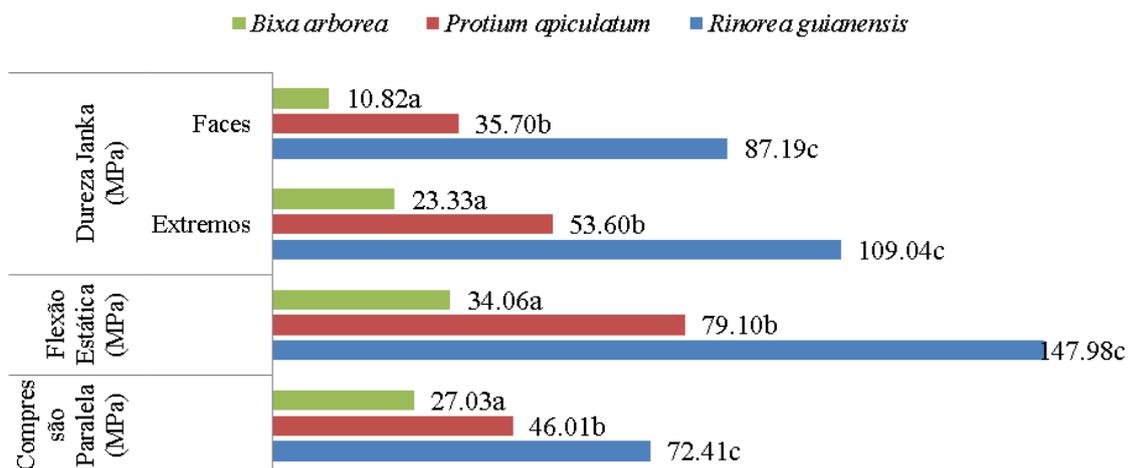


Figura 13 - Comparações dos testes mecânicos das espécies em estudo (valores do MOR para os ensaios de flexão estática e compressão paralela). Médias seguidas de mesma letra não apresentaram diferenças estatísticas pelo teste de Scott-Knot a 5% de significância

Comparando as características mecânicas de *Rinorea guianensis* com as características das espécies tradicionalmente comercializadas na Amazônia (Tabela 7), é perceptível a semelhança entre suas propriedades e as das madeiras de *Hymenaea courbaril*, *Astronium lecointei* e *Endopleura uchi* (SOUSA et. al., 2002). Tais resultados permitem inferir o potencial de uso em estruturas.

Tabela 7 - Médias dos testes realizados nas espécies *Hymenaea courbaril*, *Nectandra rubra*, *Astronium lecointei*, *Qualea albiflora*, *Simarouba amara*, *Ceiba pentandra*, *Enterolobium maximum*, *Tachigali myrmecophila* e *Endopleura uchi* (Sousa et. al., 2002), à 12% de umidade; em comparação com os resultados obtidos no presente estudo

| Nome comum          | Espécie                            | Flexão (MPa) |       | Compressão paralela (MPa) | Dureza Janka(MPa) |        |
|---------------------|------------------------------------|--------------|-------|---------------------------|-------------------|--------|
|                     |                                    | MOR          | MOE   |                           | Extremos          | Faces  |
| Amesclão            | <i>Trattinnickia burseraefolia</i> | 76,30        | 9610  | 44,13                     | 46,09             | 30,99  |
| Cedrorana           | <i>Cedrelinga catenaeformis</i>    | 77,77        | 12846 | 46,58                     | 39,62             | 37,85  |
| Jatobá              | <i>Hymenaea courbaril</i>          | 137,20       | 15592 | 75,81                     | 122,88            | 109,44 |
| Louro-vermelho      | <i>Nectandra rubra</i>             | 77,86        | 10689 | 49,92                     | 33,54             | 33,64  |
| Muiracatiara-rajada | <i>Astronium lecointei</i>         | 136,41       | 15004 | 82,38                     | 87,38             | 95,91  |
| Marupá              | <i>Simarouba amara</i>             | 64,04        | 7256  | 33,05                     | 27,07             | 14,02  |
| Sumaúma             | <i>Ceiba pentandra</i>             | 29,32        | 4412  | 23,73                     | 23,14             | 15,10  |
| Tamboril            | <i>Enterolobium maximum</i>        | 48,84        | 7649  | 37,66                     | 38,54             | 28,24  |
| Uxi                 | <i>Endopleura uchi</i>             | 153,67       | 15298 | 74,82                     | 131,11            | 103,85 |
| Acariquarana        | <i>Rinorea guianensis</i>          | 147,98       | 20287 | 72,41                     | 109,04            | 87,19  |
| Breu                | <i>Protium apiculatum</i>          | 79,10        | 13539 | 46,01                     | 53,60             | 35,70  |
| Urucu da mata       | <i>Bixa arborea</i>                | 34,06        | 6890  | 27,03                     | 23,14             | 15,10  |

De acordo com a comparação de médias relacionadas aos testes mecânicos apresentados, podemos observar que a espécie *R. guianensis* se destacou como a espécie mais resistente, apresentando também valores aproximados aos encontrados em literatura para *Hymenaea courbaril*, *Astronium lecointe* e *Endopleura uchi*; espécies notoriamente conhecidas por sua utilização na construção civil, como dormente, vigas, caibros, rodapés, forros, assoalhos, postes, móveis, ferramentas, além de torneados e chapas. Assim, a madeira de Acariquarana poderia ser indicada para usos semelhantes.

A espécie *Protium apiculatum* apresentou valores de resistência medianos, se comparadas às outras espécies em estudo, sendo que apresentou valores de propriedades mecânicas próximos a espécies como *Trattinnickia burseraefolia*, *Cedrelinga catenaeformis* e

*Nectandra rubra*. Sendo assim, a espécie em questão poderia ser utilizada como rodapés, forros, lambris, brinquedos, embalagens e caixas, esquadrias, laminados, partes secundárias de estruturas, para decoração, móveis e compensados.

Comparando a espécie *Bixa arborea* com espécies encontradas em literatura observa-se que há valores aproximados entre estas, sendo que, com base nas características próximas entre as espécies, pode-se indicar o uso de *Bixa arborea* para molduras, esquadrias, palito de fósforo, compensados e laminados, divisórias internas, engradados, brinquedos, aeromodelismo e chapas.

No ensaio de flexão estática, a espécie *Protium apiculatum* apresentou uma resistência média, com MOE de 13.539MPa e MOR de 79,10MPa. No ensaio de compressão paralela, a espécie apresentou MOE de 13.783MPa e MOR de 46,01MPa; sendo que a dureza Janka foi de 53,60MPa nos extremos e de 35,70MPa nas faces.

Analisando a espécie *P. apiculatum*, pode-se observar que a mesma possui valores de propriedade mecânica próximos aos valores encontrados em literatura de espécies já conhecidas comercialmente, tais como *Trattinnickia burseraefolia*, *Cedrelinga catenaeformis* e *Nectandra Rubra* (SOUSA et. al., 2002). Já a espécie *Bixa arborea* apresentou valores baixos em suas propriedades mecânicas quando comparada as demais espécies estudadas. No teste de flexão estática a madeira de Urucu da mata apresentou MOE de 6.890 MPa e MOR de 34,06MPa, enquanto que no teste de compressão paralela o MOE foi de 6.752 MPa e o MOR de 27,03MPa. A dureza Janka foi de 23,33Mpa no sentido transversal (extremos) e de 10,82MPa no sentido perpendicular (faces). Os valores obtidos nos ensaios são similares aos relatados para as madeiras de *Ceiba pentandra*, *Simarouba amara* e *Enterolobium maximum* (Tabela 7); sendo que a espécie *C. pentandra* foi a que apresenta valores mais próximos aos da espécie em estudo.

Considerando as indicações de uso para as espécies com propriedades mecânicas semelhantes às das espécies em estudo, Zenid (2009) relata que a madeira de *Trattinnickia burserifolia* é fácil de serrar e pode ser utilizada na construção civil, em rodapés, forro, lambris, parte interna de móveis, artigos esportivos, brinquedos, embalagens e caixas; *Cedrelinga catenaeformis* pode ser usada em esquadrias, venezianas, rodapés, laminados e embalagens; a madeira de *Nectandra rubra* pode ser usada para esquadrias, ripas e partes secundárias de estruturas, para decoração, forro, móveis e compensados; *Hymenaea courbaril* pode ser utilizada para dormente, vigas, caibros, tesouras, portas, janelas, batentes, rodapés, painéis, forros, assoalhos, móveis, ferramentas e outros. Estas informações quanto à aplicação

das espécies comercialmente conhecidas fornece subsídios para inferir o potencial de uso para as espécies estudadas.

Sousa et. al. (2002) também descreve sobre a utilização de algumas espécies encontradas em literatura, tais como a espécie *Simarouba amara*, que possui usos para móveis, molduras, instrumentos musicais, esquadrias, cabos de vassoura, palito de fósforo, compensados e laminados; a espécie *Astronium lecointei*, popularmente conhecida como muiracatiara-rajada, que detém usos na construção civil de áreas externas e internas, portas, móveis, cabos de ferramentas, assoalhos, instrumentos musicais e outros; a *Ceiba pentandra* possui utilização em divisórias internas, construção naval, engradados, jangadas, brinquedos, aeromodelismo, compensados; a espécie *Enterolobium maximum* apresenta fácil trabalhabilidade e bom acabamento, possuindo usos em embarcações, móveis, brinquedos, utilidades domésticas e chapas.

Com base no princípio de que espécies com propriedades similares tem potencial para os mesmos usos e aplicações, a utilização das espécies em estudo foi indicada de acordo com espécies comparadas em literatura.

#### **4.4 Programas de secagem**

Os valores médios das variáveis resultantes do ensaio de secagem a 100°C constam da Tabela 8; e os parâmetros dos respectivos programas de secagem podem ser visualizados na Tabela 9.

A madeira de Acariquarana, apesar de ter maior massa específica dentre as três espécies avaliadas, apresentou maiores valores para a taxa de secagem; isto é, apresentou características de fácil secagem. A madeira de Urucu da mata mostrou-se tão fácil de secar como a Acariquarana; sendo que a madeira de Breu pode ser classificada como de média facilidade quanto à secagem.

Tabela 8 – Valores médios das variáveis resultantes do ensaio de secagem drástica a 100C

| VARIÁVEIS DO<br>ENSAIO A 100°C | ESPÉCIE                                       |                                       |  |
|--------------------------------|---|---------------------------------------|--|
|                                | ACARIQUARANA<br>( <i>Rinorea guianensis</i> ) | BREU<br>( <i>Protium apiculatum</i> ) | URUCU DA MATA<br>( <i>Bixa arborea</i> ) |
| T2                             | 2,25  | 4,47                                  | 3,43                                     |
| V1                             | 0,037   | 0,024                                 | 0,038                                    |
| V2                             | 0,064   | 0,041                                 | 0,059                                    |
| V3                             | 0,016   | 0,012                                 | 0,013                                    |
| R1                             | 6,0   | 6,0                                   | 4,7                                      |
| R2                             | 5,8   | 5,8                                   | 4,7                                      |
| R3                             | 6,0   | 5,6                                   | 4,5                                      |

Legenda: T2 - tempo de secagem, em horas, da Umidade inicial até 30%; V1 - velocidade se secagem, em g/cm<sup>2</sup>.h, da Umidade inicial até 5%; V2 - velocidade se secagem, em g/cm<sup>2</sup>.h, da Umidade inicial até 30%; V3 - velocidade se secagem, em g/cm<sup>2</sup>.h, de 30% até 5%; R1 - índice da rachadura de topo no intervalo de umidade entre a Umidade inicial e 5%; R2 - índice da rachadura de topo no intervalo de umidade entre a Umidade inicial e 30%; R3 - índice da rachadura de topo no intervalo de umidade entre 30% e 5%.

Tabela 9 – Parâmetros dos programas de secagem, estimados a partir das variáveis listadas na Tabela 8

| PARÂMETROS DOS<br>PROGRAMAS DE<br>SECAGEM | ESPÉCIE                                       |                                       |  |
|---|---|---------------------------------------|--|
|   | ACARIQUARANA<br>( <i>Rinorea guianensis</i> ) | BREU<br>( <i>Protium apiculatum</i> ) | URUCU DA MATA<br>( <i>Bixa arborea</i> ) |
| Ti  | 52,2  | 53,0                                  | 56,3                                     |
| Tf  | 75,5  | 72,2                                  | 75,5                                     |
| PS  | 3,0   | 2,9                                   | 3,5                                      |

Legenda: Ti – temperatura inicial (°C); Tf – temperatura final (°C); PS – potencial de secagem

As três espécies mostraram alta tendência a rachaduras de topo, com a madeira mais pesada (Acariquarana) apresentando o maior índice (6,0; valor máximo para o índice) e a madeira mais leve (Urucu da mata) com o menor valor (4,5). Como ocorrido em relação às outras características mensuradas, a madeira de Breu apresentou comportamento intermediário.

A espécie *Rinorea guianensis* possui características anatômicas particulares, as quais podem interferir. A espécie possui poros e pontoações diminutas, e parede de fibra espessa; características que podem interferir tanto na movimentação da água capilar como na da água higroscópica. Adicionalmente, a espécie também possui raios muito compridos, fato que, aliado à maior movimentação dimensional da espécie, poderia explicar a tendência a desenvolver rachaduras de topo acentuadas.

*Protium apiculatum* possui vasos de maiores dimensões, mas pontoações também pequenas. As suas fibras tem parede média, todavia septadas; além da presença de goma. Essas características interferem na movimentação da água, principalmente a presença do exsudato; o que explicaria as menores taxas de secagem observadas no ensaio.

Já a madeira de *Bixa arborea* apresentou características interessantes, pois a espécie apresentou vasos grandes, com pontoação classificada como pequena, contudo maiores que as outras duas espécies em estudo. Adicionalmente, tem fibras de parede fina e septadas, além de estratificação dos raios; características que facilitaríamos a movimentação da água. Contudo o elevado coeficiente anisotrópico (2,72) contribui para a incidência das rachaduras de topo.

Como resultado final do ensaio de secagem drástica, o programa indicado para a madeira de Breu é o mais suave (Tabela 10) e para a madeira de Urucu da mata é o mais agressivo (Tabela 11), com a madeira de Acariquarana tendo a indicação de um programa intermediário entre os outros dois (Tabela 12).

Os programas das Tabelas 10 a 12 não incluem as condições para uniformização e condicionamento, pois sua determinação depende da umidade final desejada e que usualmente é deffinida com base do uso e local a que se destina o material. Para completar os programas de secagem, incluindo as fases de uniformização e condicionamento, pode-se utilizar a Tabela 14 (ANEXO A), divulgada por Jankowsky e Galina (2014).

Tabela 10 - Programa de secagem para a madeira de Breu (*Protium apiculatum*)

| Umidade     | TS (°C) | Tu (°C) | UR(%) | EU(%) | PS   |
|-------------|---------|---------|-------|-------|------|
| Aquecimento | 50,00   | 49,00   | 95    | 21,50 | xx   |
| Acima de 50 | 50,00   | 46,50   | 81    | 15,00 | >3,3 |
| 50          | 50,00   | 46,50   | 81    | 15,00 | 3,3  |
| 45          | 50,00   | 46,00   | 79    | 13,84 | 3,2  |
| 40          | 50,00   | 45,00   | 74    | 12,67 | 3,2  |
| 35          | 50,00   | 44,00   | 70    | 11,51 | 3,0  |
| 30          | 50,00   | 42,00   | 51    | 10,34 | 2,9  |
| 25          | 55,00   | 46,00   | 58    | 8,62  | 2,9  |
| 20          | 60,00   | 47,00   | 47    | 6,90  | 2,9  |
| 15          | 65,00   | 46,00   | 35    | 5,17  | 2,9  |
| 10          | 70,00   | 42,00   | 20    | 3,45  | 2,9  |
| 5           | 70,00   | 40,00   | 16    | 1,72  | 2,9  |

Legenda: Ts – Temperatura de bulbo seco, em °C; Tu – Temperatura de bulbo úmido, em °C; UR- Umidade relativa, em porcentagem; UE- Umidade de equilíbrio, em porcentagem; PS- Potencial de secagem.

Tabela 11 - Programa de secagem para a madeira de Urucu da mata (*Bixa arborea*)

| Umidade     | TS (°C) | Tu (°C) | UR(%) | EU(%) | PS   |
|-------------|---------|---------|-------|-------|------|
| Aquecimento | 55,00   | 54,00   | 95    | 21,00 | xx   |
| Acima de 50 | 55,00   | 51,50   | 82    | 15,00 | >3,3 |
| 50          | 55,00   | 51,50   | 82    | 15,00 | 3,3  |
| 45          | 55,00   | 50,50   | 77    | 13,39 | 3,4  |
| 40          | 55,00   | 49,50   | 73    | 11,79 | 3,4  |
| 35          | 55,00   | 48,00   | 66    | 10,18 | 3,4  |
| 30          | 55,00   | 45,00   | 54    | 8,57  | 3,5  |
| 25          | 60,00   | 47,00   | 47    | 7,14  | 3,5  |
| 20          | 65,00   | 48,00   | 39    | 5,71  | 3,5  |
| 15          | 70,00   | 46,00   | 27    | 4,29  | 3,5  |
| 10          | 75,00   | 45,00   | 19    | 2,86  | 3,5  |
| 5           | 75,00   | 45,00   | 19    | 1,43  | 3,5  |

Legenda: Ts – Temperatura de bulbo seco, em °C; Tu – Temperatura de bulbo úmido, em °C; UR- Umidade relativa, em porcentagem; UE- Umidade de equilíbrio, em porcentagem; PS- Potencial de secagem.

Tabela 12 - Programa de secagem para a madeira de Acariaquarana (*Rinorea guianensis*)

| Umidade     | TS (°C) | Tu (°C) | UR(%) | EU(%) | PS   |
|-------------|---------|---------|-------|-------|------|
| Aquecimento | 50,00   | 49,00   | 95    | 21,50 | xx   |
| Acima de 50 | 50,00   | 46,50   | 81    | 15,00 | >3,3 |
| 50          | 50,00   | 46,50   | 81    | 15,00 | 3,3  |
| 45          | 50,00   | 46,00   | 79    | 13,75 | 3,3  |
| 40          | 50,00   | 45,00   | 74    | 12,50 | 3,2  |
| 35          | 50,00   | 43,00   | 65    | 11,25 | 3,1  |
| 30          | 50,00   | 42,00   | 51    | 10,00 | 3,0  |
| 25          | 56,25   | 46,00   | 54    | 8,33  | 3,0  |
| 20          | 62,50   | 49,00   | 46    | 6,67  | 3,0  |
| 15          | 68,75   | 49,00   | 35    | 5,00  | 3,0  |
| 10          | 70,00   | 47,00   | 21,5  | 3,33  | 3,0  |
| 5           | 70,00   | 45,00   | 19    | 1,67  | 3,0  |

Legenda: Ts – Temperatura de bulbo seco, em °C; Tu – Temperatura de bulbo úmido, em °C; UR- Umidade relativa, em porcentagem; UE- Umidade de equilíbrio, em porcentagem; PS- Potencial de secagem.

Os valores apresentados na Tabela 13 permitem comparar os programas de secagem resultantes do presente ensaio com programas de secagem indicados na literatura para espécies com propriedades físicas e mecânicas similares às das três espécies sob estudo. Verifica-se que os programas indicados para as madeiras de Breu e de Urucu da mata são coerentes com os indicados para madeiras similares. O programa sugerido para a madeira de Acariaquarana é coerente em relação às temperaturas inicial e final, mas apresenta uma sugestão do Potencial de Secagem sempre maior; o que resultaria em uma secagem mais drástica.

Considerando que os programas sugeridos para as três espécies são semelhantes entre si, é possível também sugerir o agrupamento dessas três espécies na secagem convencional;

desde que o processo seja conduzido seguindo-se o programa indicado para a madeira de Breu (*Protium apiculatum*), que é o mais suave dentre eles.

Tabela 13 – Comparação dos programas de secagem indicados para as madeiras de Acariquarana (*Rinorea guianensis*), Breu (*Protium apiculatum*) e Urucu da mata (*Bixa arborea*) com programas indicados por Mendes et. al. (1998) [1], e Jankowsky (2009) [2], para espécies com características físico-mecânicas semelhantes

| NOME COMUM            | ESPÉCIE                          | PARÂMETROS DOS PROGRAMAS DE SECAGEM |         |           | FONTE |
|-----------------------|----------------------------------|-------------------------------------|---------|-----------|-------|
|                       |                                  | Ti (°C)                             | Tf (°C) | PS        |       |
| <b>Acariquarana</b>   | <i>Rinorea guianensis</i>        | 50,0                                | 70,0    | 3,0       |       |
| Sucupira              | <i>Bowdichia sp</i>              | 49,0                                | 71,0    | 2,4 a 2,9 | [1]   |
| Jatobá                | <i>Hymanaea courbaril</i>        | 50,0                                | 70,0    | 1,8 a 2,0 | [1]   |
| Jatobá                | <i>Hymanaea courbaril</i>        | 40,0                                | 65,0    | 2,2       | [2]   |
| <b>Breu</b>           | <i>Protium apiculatum</i>        | 50,0                                | 70,0    | 2,9       |       |
| Breu                  | <i>Protium sp</i>                | 40,0                                | 65,0    | 2,7 a 2,8 | [1]   |
| Tauari                | <i>Couratari oblongifolia</i>    | 60,0                                | 70,0    | 2,0 a 2,4 | [1]   |
| Tauari                | <i>Couratari guianensis</i>      | 50,0                                | 70,0    | 2,7       | [2]   |
| Mandioqueira escamosa | <i>Qualea dinizzi</i>            | 60,0                                | 70,0    | 3,2 a 3,6 | [1]   |
| Amesclão              | <i>Trattinickia bursarifolia</i> | 45,0                                | 70,0    | 2,6       | [2]   |
| <b>Urucu da mata</b>  | <i>Bixa arborea</i>              | 55,0                                | 75,0    | 3,5       |       |
| Sumaúma               | <i>Ceiba pentandra</i>           | 60,0                                | 70,0    | 2,0 a 2,4 | [1]   |
| Marupá                | <i>Simarouba amara</i>           | 70,0                                | 80,0    | 4,4 a 4,6 | [1]   |
| Virola                | <i>Virola surinamensis</i>       | 50,0                                | 70,0    | 2,5       | [2]   |

Um último aspecto a ser abordado é a intensidade das rachaduras de topo, que para as três espécies mostrou-se alto; variando de 4,5 a 6,0, dentro de uma escala com amplitude entre 1,0 (sem rachaduras) e 6,0 (rachaduras muito intensas).

Na elaboração da metodologia de secagem proposta por Jankowsky (2009), as espécies trabalhadas detinham baixa propensão a rachaduras, com índice máximo de 2,96. Considerando-se que o aumento na valor das rachaduras de topo tem como efeito principal aumentar a temperatura inicial sugerida para o programa de secagem, sugere-se a realização de novos ensaios, revendo a metodologia, de forma a incluir espécies com maior propensão a rachaduras.

#### 4.5 Correlação canônica

Foram analisados os pares canônicos com maior magnitude de correlação e significativos a 1% de probabilidade.

A Tabela 15 (ANEXO B) apresenta as correlações canônicas e os pares canônicos estimados entre as características anatômicas (grupo I) e físicas (grupo II) da madeira. Pode-se observar que todas as correlações canônicas foram elevadas e significativas a 1% de probabilidade, pelo teste Pillai-Bartlett. Também se verifica que a correlação canônica do primeiro par canônico é elevada. Observa-se que as associações intergrupos são estabelecidas no primeiro par de fatores canônicos, com correlação de 0,9972, associa a maior frequência e espessura do raio com a contração radial e tangencial; e espessura da parede com a densidade básica. Considerando que a presença dos raios é o fator que melhor explica a diferença entre as retrações tangencial e radial (GALVÃO E JANKOWSKY, 1985), justifica-se o efeito observado. Da mesma forma, é de conhecimento geral o efeito da espessura da parede celular na densidade básica ou na massa específica da madeira.

A Tabela 16 (ANEXO C) apresenta o resultado da análise de correlação canônica para as características anatômicas (grupo I) e físicas da madeira (grupo II), sendo que as correlações canônicas referentes ao primeiro e segundo pares canônicos foram significativas a 1% de probabilidade. Verifica-se que a correlação canônica de todos os pares canônicos é elevada, sendo, respectivamente, de 0,9999, 0,9988 e 0,9964. Nesta, as associações intergrupos são definidas, pela influência de características, tais como:

- i) o primeiro par de fatores canônicos, com correlação de 0,9999, associa a madeira de maior frequência e espessura do raio e, parede celular de menor espessura com a madeira de elevado módulo de ruptura no ensaio de flexão estática e menor módulo de ruptura no ensaio de compressão paralela;
- ii) Com correlação de 0,9770, o segundo par de fatores canônicos, associa a madeira de parede mais espessas e menor espessura dos raios com a madeira de maior módulo de ruptura no ensaio de compressão paralela e menor módulo de ruptura no ensaio de flexão estática.

Madeiras cujas fibras possuem paredes mais espessas possuem mais substância madeira por unidade de volume e, por consequência, apresentam maior resistência à esforços mecânicos e são mais rígidas. A frequência e a espessura dos raios poderia explicar a diferença em relação ao tipo de ensaio.

No ensaio de resistência à compressão paralela a carga é aplicada no mesmo sentido das fibras, cuja resistência até a ruptura seria maior devido à maior quantidade de material madeira e menor espessura dos raios. Contudo, no ensaio de flexão estática, como a aplicação

da carga é na parte central da peça e perpendicular ao sentido das fibras; a menor espessura do raio poderia ter sido o fator determinante para uma ruptura mais rápida da peça.

Para Rocha et. al. (1988), uma das maneiras de se elevar a resistência mecânica da madeira é por meio do processo de secagem, pois, com a saída da água livre das paredes celulares da madeira, a mesma contrai-se, aproximando as microfibrilas; essa aproximação confere maior resistência à madeira, de forma que, acima do ponto de saturação das fibras, não há diferenças significantes quanto à resistência da madeira.

A Tabela 17 (ANEXO D) apresenta os pares e correlações canônicas entre as características anatômicas (grupo I) e físicas (grupo IV) da madeira. Pode-se observar que todas as correlações canônicas foram elevadas e significativas a 1% de probabilidade. Notamos que o 1º e 2º par canônico apresentaram valores de 0,9837 e 0,9731, respectivamente, sendo que ambos demonstram elevada correlação canônica sendo que, tanto o primeiro quanto o segundo par de fatores canônicos, associam a madeira de maior espessura do raio e parede menos espessa, com madeira de baixo nível de colapso e elevado nível de rachadura.

As amostras usadas no ensaio de secagem drástica são cortadas no sentido tangencial, ou seja; os raios estão no sentido da espessura da amostra, e atuam como elementos de condução da água capilar até a superfície do corpo de prova (superfície de evaporação). Dessa forma, as amostras de madeira com maior espessura de raio facilitariam o escoamento da água líquida e contribuiriam para reduzir a possibilidade do colapso.

Contudo, as rachaduras de topo tem início nas células de raio; que podem se expandir mais facilmente nas madeiras de menor massa específica (fibras de paredes menos espessas e, conseqüentemente, menor resistência mecânica).



## 5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos na presente pesquisa permitiram atender aos objetivos específicos pretendidos. Em relação à descrição anatômica:

A espécie *Rinorea guianensis* apresentou grã direita, distribuição difusa, raios não estratificados, muito finos, vasos muito grandes, solitários a múltiplos radiais, abundantes, com apêndices, pontoação pequena, fibras compridas, de parede espessa, não septadas. Parênquima axial paratraqueal escasso, raios heterogêneos procumbentes, multisseriados, anéis de crescimento pouco distintos, presença de cristais parenquimáticos romboédricos de oxalato em câmaras;

*Protium apiculatum* apresentou vasos solitários, com distribuição difusa, grã entrecruzada, anéis de crescimento individualizados por zonas fibrosas, vasos grandes, abundantes, com apêndices, pontoação pequena, fibras de parede média, septadas, parênquima axial paratraqueal vasicêntrico, raios não estratificados, heterogêneos procumbentes, multisseriados, numerosos, e a espécie foi classificada boa para papel;

A espécie *Bixa arborea* apresentou grã direita, poros visíveis a olho nu, numerosos, com distribuição difusa, anéis de crescimento distintos, individualizados por zonas fibrosas, vasos grandes, abundantes, pontoação pequena. Fibras de parede fina, septadas. Parênquima axial apotraqueal difuso. Raios estratificados, heterogêneos procumbentes, multisseriados, numerosos. Cristais parenquimáticos ausentes e, a espécie foi classificada como muito boa para papel.

- Quanto às propriedades físicas

A madeira de *Rinorea guianensis* apresentou os maiores valores para a densidade básica e a retração volumétrica, respectivamente 0,78 g/cm<sup>3</sup> e 21,845. Ademais, a madeira mais leve e com menor retração volumétrica, com valores de, respectivamente, 0,27 g/cm<sup>3</sup> e 7,93% foi a da espécie *Bixa arborea*. Contudo, *Bixa arborea* foi a espécie cuja madeira tem o maior coeficiente anisotrópico, de 2,72, reduzindo seu potencial de utilização. E, com densidade básica de 0,51 g/cm<sup>3</sup> e 13,14% de retração volumétrica, a madeira de *Protium apiculatum* mostrou características intermediárias;

- Quanto às propriedades de resistência mecânica

A madeira de *Rinorea guianensis* apresentou alta resistência, com MOE de 20.287 MPa e MOR de 147,98 MPa na flexão estática, MOE de 25.398MPa e MOR de 72,41 MPa na

compressão paralela; e valores de dureza Janka de 109,04 e 87,19MPa nos sentidos paralelo (extremidades) e perpendicular (faces), respectivamente;

No ensaio de flexão estática, a espécie *Protium apiculatum* apresentou MOE de 13.539MPa e MOR de 79,10MPa. No ensaio de compressão paralela, a espécie apresentou MOE de 13.783MPa e MOR de 46,01MPa; sendo que a dureza Janka foi de 53,60MPa nos extremos e de 35,70MPa nas faces, sendo classificada como de média resistência;

A madeira menos resistente foi a de *Bixa arbórea*, classificada como de baixa resistência. No teste de flexão estática apresentou MOE de 6.890 MPa e MOR de 34,06MPa, enquanto que no teste de compressão paralela o MOE foi de 6.752 MPa e o MOR de 27,03MPa. A dureza Janka foi de 23,33Mpa no sentido perpendicular (extremos) e de 10,82MPa no sentido transversal (faces).

- Programas de secagem

São sugeridos programas específicos para a madeira das três espécies, os quais mostraram coerência com os programas sugeridos em literatura para espécies já comercializadas e com características semelhantes às das espécies em estudo. Adicionalmente, é possível também sugerir o grupamento dessas três espécies na secagem convencional; desde que o processo seja conduzido seguindo-se o programa indicado para a madeira de Breu (*Protium apiculatum*), que é o mais suave dentre eles.

Complementando o estudo, a análise das correlações canônicas entre as propriedades das madeiras mostrou correlações significativas ao nível de 1% de probabilidade, destacando-se:

Madeiras de maior frequência e espessura do raio e parede celular de menor espessura estão associadas a madeiras de alta contração tanto tangencial como radial, e baixa densidade básica;

Madeiras de maior frequência e espessura do raio e com paredes menos espessas estão associadas a madeiras de elevado módulo de ruptura no ensaio de flexão estática e menor módulo de ruptura no ensaio de compressão paralela;

Madeiras com paredes mais espessas e menor espessura dos raios estão associadas a madeiras de maior módulo de ruptura no ensaio de compressão paralela e menor módulo de ruptura no ensaio de flexão estática;

Madeiras com raios mais espessos e parede menos espessa estão associados a madeiras de baixo nível de colapso e elevado nível de rachadura;

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7203**: Madeira serrada e beneficiada. Rio de Janeiro: ABNT. 1982. 2p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: ABNT. 1997. 107p.

ANDRADE, A. **Indicação de programas para a secagem convencional de madeiras**. 2000. 72p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2000.

ANDRADE, A.; JANKOWSKY, I.P.; DUCATTI, M.A. Grupamento de madeiras para secagem convencional. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, n. 59, p. 89-99, jun. 2001.

ANJOS, V.A.; STANGERLIN, D.M.; SANDER, A.; BOTIN, A.A.; TENUTTI, J.; SANTOS FILHO, N.N.; BRAGA, R. Caracterização do processo de secagem da madeira nas serrarias do município de Sinop, Mato Grosso. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 2, n. 1, p. 53-63, maio 2011.

ARAÚJO, H.J.B. Relações funcionais entre propriedades físicas e mecânicas de madeiras tropicais brasileiras. **Revista floresta**, Curitiba, v. 37, n. 3, set.-dez., 2007.

BACCARO, F.B.; DRUCKER, D.P.; VALE, J.; OLIVEIRA, M.L.; MAGALHÃES, C.; CUNHA, N.L.; MAGNUSSON, W.E. A Reserva Ducke. In: Reserva Ducke: **A biodiversidade amazônica através de uma grade**. Baccaro, Braga-Neto, Magnusson. INPA. Manaus: Ed. Oliveira, 2008. p. 11-20.

BACHA, C. J. C.; RODRIGUEZ, L. C. E. Impáctos sócio-econômicos do Projeto Tapajós. **Floresta Nacional do Tapajós: Experiências e lições para implementação do manejo florestal em unidade de conservação**. Projeto Tapajós. Belém, PA, 2006. 180p.

BENDTSEN, 1978; Apud.; TIENNE, D.L.C.; OLIVEIRA, J.N.; PALERMO, G.P.M.; SOUSA, J.S.; LATORRACA, J.V.F. Influência do espaçamento no ângulo das microfibrilas e comprimento de fibras de clone de eucalipto. **Revista florestal latinoamericana**, Mérida, Venezuela, v.24, n.1, p.67-83, 2009.

BORGES, L.M.; QUIRINO, W.F. Higroscopicidade da madeira de *Pinus caribaea* var. hondurensis tratado ermicamente. **Revista Biomassa & Energia**, Itu, SP, v. 1, n.2 ,p. 173-182, de Abr-Jun de 2004.

BRANDÃO, 1989; TERAZAWA, 1965; apud.; ANDRADE, A.; **Indicação de programas para a secagem convencional de madeiras**. Dissertação (Mestrado em ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2000.

BURGER, L.M.; RICHTER, H.G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.

CARDIN, V.S. **Ensaaios não destrutivos aplicados à madeira serrada e estruturais: Técnicas potenciais para o uso no Brasil**. 2011. 116p. Dissertação (Mestrado em construção civil) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2011.

CARDOSO, C.C.; MOUTINHO, V.H.P.; MELO, L.O.; SOUSA, L.K.V.S; SOUZA, M.R. Caracterização físico-mecânica de madeiras amazônicas com aptidão tecnológica para comercialização. **Revista de Ciências Agrárias**. Amazonian Journal of agricultural and environmental sciences. v. 55, n. 3, p. 176-183, 2012.

CARRASCO, E.V.M.; AZEVEDO JÚNIOR, A.P. Avaliação de propriedades mecânicas de madeiras através de ultra-som - fundamentos físicos e resultados experimentais. **Revista Cerne**, Lavras, v.9, n. 2, p. 178-191, jul.-dez. 2003.

CARVALHO, M.S.P.; CARVALHO, J.O.P. Influência do espaçamento nas características físico-mecânicas da madeira de *Bagassa guianensis* Aubl. (Tatajuba), no planalto de Belterra, Pará. **Comunicado Técnico Nº 88**. Belém: EMBRAPA, 1998. 5p.

CORADIN, V.T.R.; MUNIZ, G.I.B. Normas e procedimentos em estudos de anatomia da madeira: I-angiospermae II-gimnospermae. **Série técnica n. 15**. Brasília: IBAMA/LPF, 1992. 19p.

COSTA, V.E. **Caracterização físico-energética da madeira e produtividade de reflorestamentos de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla***. Tese (Doutorado em agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, SP, fev.2006.

DENIG, J.; WENGERT, E.M.; SIMPSON, W.T. **Drying hardwood lumber**. Madison, Wisconsin, USA: United States Department of agriculture/Forest products laboratory. 2000. 138p.

COSTA FILHO, P. P.; COSTA, H. B.; AGUIAR, O. R. Exploração mecanizada da floresta tropical úmida sem babaçu. **Circular técnica nº9**. Belém: EMBRAPACPATU-PNPF, 1980. 24p.

FEDALTO, L.C.; MENDES, I.C.A.; CORADIN, V.T.R. **Madeiras da Amazônia**: descrição do lenho de 40 espécies ocorrentes na Floresta Nacional do Tapajós. Brasília: IBAMA/LPF, 1989. 156p.

FERREIRA, E.D. **Correlação canônica entre as características organizacionais e os níveis de processos no desenvolvimento de produto**. 2009. 162p. Dissertação (Mestrado em engenharia de produção e sistemas) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Curitiba, PR, 2009.

FRANKLIN, G.L. **Preparation of thin sections of synthetic resin and wood: resin composites, and a new macerating method for wood**. London: Nature, v. 155, n.3924, 1945. p.5.

GALVÃO, A.P.M.; JANKOWSKY, I.P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Ed. Nobel, 1985. 111p.

GOMIDE, J.L. **Secagem da madeira**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, 1973. 76p.

GREEN, D.W.; WINANDY, J.E.; KRETSCHMANN, D.E. **Mechanical properties of wood**. In: Wood handbook: wood as an engineering material. Washington-EUA: United States department of agriculture/Forest Products Laboratory. 1999. Cap 4. p. 1-46. 463p.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos materiais**. 7. ed. São Paulo: PEARSON EDUCATION - BR, 2010. 688p.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R.J.; MINETTE, L.; BIOT, Y. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia Brasileira. **Acta Amazônica**, Manaus, Amazonas, v. 8, n.2, p. 153-166, jun. 1998.

International Association of wood anatomists. IAWA. **List of microscopic features for hardwood identification**. 4th printing. Leiden – Holanda: IAWA Committee, 1989. 332p.

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. ICMBio. **Mapa e limites georreferenciados da Floresta Nacional do Tapajós**. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/flonatapajos/mapas-e-limites.html>>. Acesso em: 01 de jul. 2014. 1 mapa. Escala: 1:000.000.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. IBAMA. **Plano de manejo**. Floresta Nacional do Tapajós. Santarém: IBAMA. v. IB. 2004. 133p.

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. INPA. **Inovações no manejo florestal para área de várzea no estado**. Notícia publicada no dia 26 de abril de 2011. Disponível em: <[https://www.inpa.gov.br/noticias/noticia\\_sгно2.php?codigo=1974](https://www.inpa.gov.br/noticias/noticia_sгно2.php?codigo=1974)>. Acesso em: 20 de ago. 2014.

BRASIL. Ministério do meio ambiente. Instrução Normativa nº 5 de 2006. In: \_\_\_\_\_. **Normas florestais federais para a amazônia**. Distrito Federal: Brasília, 2006.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. IPT. Madeira: o que é e como pode ser processada e utilizada. **Boletim ABPM nº 36**. São Paulo: IPT, 1985. 189p.

JANKOWSKY, I.P.; SILVA, L.E. Gradiente de umidade durante a secagem da madeira de Araucaria angustifolia (Bert.) O. KTZE. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, n.31, p.57-59, 1985.

JANKOWSKY, I.P. **Metodologia simplificada para a indicação de programas de secagem**. 2009. 119p. Tese (Livre-docência) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, abril, 2009.

JANKOWSKY, I.P.; GALINA, I.C.M. **Secagem da madeira**. Curso técnico. 2 ed. Piracicaba: ANPM, 2014. 37 p.

JOHANSEN, D. A. Plant Microtechnique. McGraw-Hill Book Company. London, 1940.

KEEY, R.B.; LANGRISH, T.A.G.; WALKER, J.C.F. **Kiln-drying og lumber**. New York: Springer Series in Wood Science, 1999. 326p.

KOLLMANN, F. F. P.; COTÊ, W. A. **Principles of wood science and technology**. New York: Springer-Verlag, 1968. v. 1.

LIMA, T.G. **Variações no sentido radial e longitudinal de algumas propriedades das madeiras de *Eucalyptus microcorys* F. Muell. E *Eucalyptus pilularis* Sm.** 1995. 106f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.  
LOPES, G.A.; GARCIA, J.N. Densidade básica e umidade natural da madeira de *Eucalyptus saligna* Smith, de Itatinga, associadas aos padrões de casca apresentados pela população. **Scientia Forestalis**, n, 62, p. 13-23, dez. 2002.

LOUREIRO, A.A.; SILVA, M.F. **Catálogo de madeiras da Amazônia**. vol. 2. Belém: Superintendência do desenvolvimento da Amazônia – SUDAM, 1968. 411p.

MACHADO, F.S. **Manejo de Produtos Florestais Não Madeireiros: um manual com sugestões para o manejo participativo em comunidades da Amazônia**. Rio Branco, Acre: Ed. PESACRE/CIFOR, 2008. p. 11-16.

MAINIERI, C. **Manual de identificação das principais madeiras comerciais brasileiras**. São Paulo: Instituto de pesquisas tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, 1983. 418p.

MARTINS, V.A. **Secagem de madeira serrada**. Brasília: IBDF/DPq – LPF, 1988. 52p.

MELO, R.R.; STANGERLIN, D.M.; MÜLLER, M.T.; SANTINI, E.J.; HASELEIN, C.R. Programa de secagem para madeiras. **10º Congresso Florestal Estadual**. Nova prata, RS, ago. 2008.

MENDES, A.S.; MARTINS, V.A.; MARQUES, M.H.B. **Programas de secagem para madeiras brasileiras**. Brasília: IBAMA/LPF, 1998. 114p.

MILLER, R.B. Structure of Wood. In: **Wood handbook: wood as an engineering material**. Washington-EUA: United States department of agriculture/ Forest Products Laboratory, 1999. Cap. 2. p. 1-4. 463p.

METCALFE, C.R.; CHALK, L. **Anatomy of the dicotyledons: wood structure and conclusion of the general introduction**. 2nd ed. Oxford: Oxford science publications. vol. 2, 1989. 806p.

Ministério do Meio Ambiente. MMA. **Florestas do Brasil em resumo**. Brasília: Serviço Florestal brasileiro, 2009. 120p.

MORALES, E.A.M. **Determinação do módulo de elasticidade da madeira: Proposta para simplificação de procedimentos metodológicos**. 2002. Dissertação (Mestrado em ciência e engenharia de materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2002. 86p.

OLIVEIRA, J.T.S.; SILVA, J.C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. Sociedade de Investigações Florestais – SIF. **Revista árvore**, Viçosa-MG, v. 27, n. 3, p. 381-385, 2003.

OLIVEIRA, L.C. **Efeito da exploração da madeira e de diferentes intensidades de desbastes sobre a dinâmica da vegetação de uma área de 136ha na floresta nacional do Tapajós**. 2005. 183p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2005.

OLIVEIRA, J.T.S.; TOMAZELLO FILHO, M.; FIEDLER, N.C. Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.34, n.5, p.929-936, 2010.

MUSEU EMILIO GOELDI. PPBio. FLONA TAPAJÓS. Disponível em: <<http://ppbio.museu-goeldi.br/?q=pt-br/flona-tapajós>>. Acesso em: 05 de abr. 2013.

PAULA, J.E. Caracterização anatômica da madeira de sete espécies da amazônia com vistas à produção de energia e papel. **Acta Amazonica**, v. 33, n.2, p. 243-262, 2003.

PANSHIN, A.J.; ZEEUW, C. **Textbook of wood technology: structure, identification, uses, and properties of the commercial woods of the United States and Canada**. v. 1, 3ed. 1964. 705p.

PEREIRA JUNIOR, R. A.; MARTINS, D. P.; PEREIRA, D. C. P. Práticas de manejo e exploração florestal no âmbito do projeto tapajós. **Floresta Nacional do Tapajós: Experiências e lições para implementação do manejo florestal em unidade de conservação**. Projeto Tapajós. Belém, PA, 2006. 180p.

PRATT, G.H. **Timber drying manual**. London: Department of the Environment, Building Research Establishment, 1974. 152p.

PROTASIO, T. P.; TRUGILHO, P. F.; NEVES, T. A.; VIEIRA, C. M. M. Análise de correlação canônica entre características da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 95, p. 317-326, set. 2012

REIS, L.P.; RUSCHEL, A.R.; COELHO, A.A.; LUZ, A.S.; MARTINS-DA-SILVA, R.C. Avaliação do potencial madeireiro na Floresta Nacional do Tapajós, após 28 anos da exploração florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, n.64, p. 265-281, nov./dez. 2010.

RIBEIRO FILHO, J.G. **Aplicações da técnica de análise de correlações canônicas na previsão da climática sazonal no Ceará**. 2009. 121p. Dissertação (Mestrado em ciências físicas aplicadas) - Universidade Estadual do Ceará. Fortaleza, CE, 2009.

RIBEIRO, F.A.; ZANI FILHO, J. Variação da densidade básica da madeira em espécies/procedências de *Eucalyptus* spp. **Scientia Forestalis**, n. 46, p. 76-85, jan./dez. 1993.

RIETZ, R.C.; PAGE, R.H. **Air drying of lumber: A guide to industry practices**. Washington: Agriculture Handbook/Forest Service, 1971. 116p.

ROCHA, J.S.; PAULA, E.V.C.M.; SIQUEIRA, M.L. Flexão estática em pequenas amostras livres de defeitos. **Acta Amazônica**, v. 18, n. 1-2, p. 147-162, 1988.

SCANAVACA JUNIOR, L.; GARCIA, J.N. Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, n. 65, p. 120-129. Jun. 2004.

SCHÖNGART, J. Growth-Oriented Logging (GOL): A new concept towards sustainable forest management in Central Amazonian várzea floodplains. *Forest Ecology and Management*. **ELSEVIER**. 256, p. 46–58, 2008.

SEVERO, E.T.D. Qualidade da secagem de madeira serrada de *Eucalyptus dunnii*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.10, n.1, p.109-124, 2009.

SILVA, J.C.; TOMAZELLO FILHO, M.; OLIVEIRA, J.T.S.; CASTRO, V.R. Influência da idade e da posição radial nas dimensões das fibras e dos vasos da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista árvore**. Viçosa, MG, v. 31, n.6, p. 1081-1090, 2007.

SILVA, J.C.; SOARES, L.; FERREIRA, P.V.; SILVA, P.P.; SILVA, M.J.C. Correlações canônicas de características agroindustriais em cana-de-açúcar. **Acta Sci. Agron.** Maringá, v. 29, n. 3, p. 345-349, 2007.

SKAAR, C. **Wood water relations**. New York: Springer Series in Wood Science, 1988. 283 p.

SOBRAL, L; VERÍSSIMO, A; LIMA, E; AZEVEDO, T; SMERALDI, R. Acertando o alvo 2: consumo de madeira e certificação florestal no estado de São Paulo. **Imazon**. Belém, PA. p. 17-20, 2002.

SOUSA, M.H.; MAGLIANO, M.M.; CAMARGOS, J.A.A.; SOUZA, M.R. **Madeiras topicais brasileiras**. 2. ed. Brasília: LPF/ IBAMA, 2002. 152p.

SUSIN, F. **Avaliação de programas de secagem para madeiras de eucalipto elaborados com base em testes prévios a alta temperatura**. 2012. 161p. Dissertação (Mestrado em engenharia florestal) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2012.

SUSIN, F.; SANTINI, E.J.; STANGERLIN, D.M.; MORAIS, W.W.C.; MELO, R.R. Taxa de secagem e qualidade da madeira serrada de *Hovenia dulces* submetida a dois métodos de secagem. **Floresta e ambiente**. P. 243-250, 2014.

TREVIZOR, T.T. **Anatomia comparada do lenho de 64 espécies arbóreas de ocorrência natural na floresta tropical amazônica no estado do Pará**. 2011. 214p. Dissertação (Mestrado em ciências). - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2011.

TRUGILHO, P.F.; LIMA, J.T.; MORI, F.A. Correlação canônica das características químicas e físicas da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **Revista Cerne**, V.9, N.1, p.066-080, 2003.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization.** New York, EUA: Van Nostrand Reinhold, 1991.

VIVIAN, M.A.; MODES, K.S.; BELTRAME, R.; SOUZA, J.T.; STANGERLIN, M.; MORAIS, W.C.; SANTINI, E.J. Influência do tratamento térmico nos defeitos de secagem da madeira de *Hovenia dulcis* Thunb. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 02, n. 01, p. 15-28, Mai. 2011.

WARD, J.C.; SIMPSON, W.T. **Drying defects.** In: SIMPSON, W.T. kiln operator's manual. Madison, Wisconsin, USA: United States Department of agriculture, 1991. P. 179-188

WANGAARD, F.F. **The mechanical properties of wood.** New York, EUA, 1950. 377p.

ZENID, G.J. **Madeira: uso sustentável na construção civil.** 2 ed. São Paulo: Instituto de pesquisas tecnológicas – IPT, 2009. 99p.

ZENID, G.J.; CECCANTINI, G.C.T. **Identificação macroscópica de madeiras. Piracicaba: Instituto de pesquisas tecnológicas. IPT, São Paulo, 2007. 24p.**



**ANEXOS**



## Anexo A

Tabela 14 - Condições para a uniformização e o condicionamento

| UMIDADE<br>FINAL<br>(%) | Ts<br>(°C) | UNIFORMIZAÇÃO |           |           | CONDICIONAMENTO |           |           |
|-------------------------|------------|---------------|-----------|-----------|-----------------|-----------|-----------|
|                         |            | Tu<br>(°C)    | UR<br>(%) | UE<br>(%) | Tu<br>(°C)      | UR<br>(%) | UE<br>(%) |
| 6,0                     | 60,0       | 37,0          | 23        | 4,0       | 53,0            | 67        | 10,0      |
|                         | 65,0       | 40,5          | 24        |           | 58,0            | 68        |           |
|                         | 70,0       | 45,5          | 26        |           | 62,5            | 70        |           |
|                         | 75,0       | 50,0          | 28        |           | 68,0            | 71        |           |
|                         | 80,0       | 55,5          | 30        |           | 73,0            | 72        |           |
| 7,0                     | 60,0       | 41,0          | 31        | 5,0       | 54,0            | 71        | 11,0      |
|                         | 65,0       | 45,5          | 34        |           | 59,0            | 72        |           |
|                         | 70,0       | 50,0          | 35        |           | 64,0            | 75        |           |
|                         | 75,0       | 55,5          | 37        |           | 69,0            | 76        |           |
|                         | 80,0       | 60,0          | 40        |           | 74,5            | 78        |           |
| 8,0                     | 60,0       | 44,5          | 39        | 6,0       | 54,5            | 74        | 12,0      |
|                         | 65,0       | 49,0          | 42        |           | 60,0            | 77        |           |
|                         | 70,0       | 54,0          | 45        |           | 65,0            | 79        |           |
|                         | 75,0       | 59,0          | 46        |           | 70,0            | 79        |           |
|                         | 80,0       | 64,5          | 49        |           | 75,5            | 81        |           |
| 9,0                     | 60,0       | 47,0          | 47        | 7,0       | 55,5            | 78        | 13,0      |
|                         | 65,0       | 52,0          | 50        |           | 61,0            | 80        |           |
|                         | 70,0       | 57,0          | 53        |           | 66,0            | 81        |           |
|                         | 75,0       | 62,0          | 54        |           | 71,0            | 82        |           |
|                         | 80,0       | 67,5          | 56        |           | 76,0            | 83        |           |
| 10,0                    | 60,0       | 49,0          | 54        | 8,0       | 56,5            | 82        | 14,0      |
|                         | 65,0       | 54,5          | 57        |           | 61,5            | 83        |           |
|                         | 70,0       | 59,0          | 59        |           | 66,5            | 83        |           |
|                         | 75,0       | 65,0          | 62        |           | 71,5            | 85        |           |
|                         | 80,0       | 70,0          | 63        |           | 77,0            | 87        |           |
| 11,0                    | 60,0       | 51,0          | 60        | 9,0       | 57,0            | 85        | 15,0      |
|                         | 65,0       | 56,0          | 62        |           | 62,0            | 85        |           |
|                         | 70,0       | 61,0          | 65        |           | 67,0            | 86        |           |
|                         | 75,0       | 66,5          | 67        |           | 72,0            | 87        |           |
|                         | 80,0       | 72,0          | 69        |           | 77,5            | 89        |           |
| 12,0                    | 60,0       | 53,0          | 67        | 10,0      | 57,5            | 87        | 16,0      |
|                         | 65,0       | 58,0          | 68        |           | 62,5            | 88        |           |
|                         | 70,0       | 62,5          | 70        |           | 67,5            | 88        |           |
|                         | 75,0       | 68,0          | 71        |           | 72,5            | 89        |           |
|                         | 80,0       | 73,0          | 72        |           | 78,0            | 91        |           |
| 13,0                    | 60,0       | 54,0          | 71        | 11,0      | 58,0            | 90        | 17,0      |
|                         | 65,0       | 59,0          | 72        |           | 63,0            | 90        |           |
|                         | 70,0       | 64,0          | 75        |           | 68,0            | 91        |           |
|                         | 75,0       | 69,0          | 76        |           | 73,0            | 91        |           |
|                         | 80,0       | 74,5          | 78        |           | 78,5            | 93        |           |
| 14,0                    | 60,0       | 54,5          | 74        | 12,0      | 58,0            | 90        | 18,0      |
|                         | 65,0       | 60,0          | 77        |           | 63,5            | 93        |           |
|                         | 70,0       | 65,0          | 79        |           | 68,5            | 93        |           |
|                         | 75,0       | 70,0          | 79        |           | 73,5            | 93        |           |
|                         | 80,0       | 75,5          | 81        |           | 79,0            | 95        |           |
| 15,0                    | 60,0       | 55,5          | 78        | 13,0      | 58,5            | 92        | 19,0      |
|                         | 65,0       | 61,0          | 80        |           | 63,5            | 93        |           |
|                         | 70,0       | 66,0          | 81        |           | 69,0            | 95        |           |
|                         | 75,0       | 71,0          | 82        |           | 74,0            | 95        |           |
|                         | 80,0       | 76,0          | 83        |           | 79,0            | 95        |           |

Fonte: Associação Nacional dos Produtores de Pisos de Madeira – ANPM (2014)

## Anexo B

Tabela 15 - Correlações canônicas e pares canônicos entre as características dos grupos I e II

| Variáveis                 | Pares canônicos |         |         |
|---------------------------|-----------------|---------|---------|
|                           | 1°              | 2°      | 3°      |
| Comprimento de fibra      | 0.0002          | -0.0007 | -0.0008 |
| Diâmetro de Lume          | -0.0093         | 0.1220  | 0.0754  |
| Largura da Parede celular | -0.0451         | 0.3828  | 0.3055  |
| Comprimento do vaso       | 0.0005          | -0.0011 | -0.0012 |
| Largura do vaso           | 0.0052          | -0.0048 | -0.0074 |
| Altura do raio            | -0.0004         | 0.0019  | 0.0008  |
| Espessura do raio         | 0.0191          | -0.0696 | -0.0472 |
| Frequencia de raio        | 0.0234          | -0.0275 | -0.0257 |
| Pontoação                 | 0.0088          | 0.2371  | 0.1764  |
| Contração Tangencial      | 0.0474          | -0.0170 | -0.2109 |
| Contração Radial          | 0.0313          | 0.0920  | -0.0465 |
| Contração Volumétrica     | -0.0377         | 0.0381  | 0.0828  |
| Densidade básica          | -0.8279         | -0.8595 | 0.7047  |
| Umidade inicial real      | 0.0000          | 0.0026  | 0.0008  |
| Correlação canônica       | 0.9972          | 0.9770  | 0.9209  |
| Pillai-Bartlett           | 0.0439          | 0.1999  | 0.3451  |

## Anexo C

Tabela 16 - Correlações canônicas e pares canônicos entre as características dos grupos I e III

| Variáveis                 | Pares canônicos |         |         |
|---------------------------|-----------------|---------|---------|
|                           | 1º              | 2º      | 3º      |
| Comprimento de fibra      | -0.0001         | 0.0001  | 0.0002  |
| Diâmetro de Lume          | -0.1845         | 0.0188  | -0.0014 |
| Largura da Parede celular | -0.7172         | 0.1400  | -0.0966 |
| Comprimento do vaso       | 0.0044          | -0.0021 | -0.0014 |
| Largura do vaso           | 0.0041          | -0.0041 | -0.0067 |
| Altura do raio            | -0.0021         | 0.0010  | 0.0002  |
| Espessura do raio         | 0.0625          | -0.0183 | -0.0216 |
| Frequencia de raio        | 0.0244          | -0.0164 | -0.0281 |
| Pontoação                 | -0.5047         | 0.0020  | -0.0952 |
| MOR compressão            | -0.0084         | 0.0146  | 0.0055  |
| MOE compressão            | 0.0000          | 0.0000  | 0.0000  |
| MOR flexão                | 0.0290          | -0.0071 | 0.0253  |
| MOE flexão                | -0.0001         | 0.0000  | -0.0001 |
| MOR Janka faces           | -0.0062         | 0.0018  | 0.0067  |
| MOR Janka extremos        | -0.0022         | 0.0047  | -0.0211 |
| Correlação canônica       | 0.9999          | 0.9988  | 0.9964  |
| Pillai-Bartlett           | 0.0916          | 0.1210  | 0.1378  |

## Anexo D

Tabela 17 - Correlações canônicas e pares canônicos entre as características dos grupos I e IV

| Variáveis                   | Pares canônicos |         |         |
|-----------------------------|-----------------|---------|---------|
|                             | 1°              | 2°      | 3°      |
| Comprimento de fibra        | 0.0016          | 0.0006  | 0.0004  |
| Diâmetro de Lume            | -0.0920         | -0.0686 | -0.0688 |
| Espessura da Parede celular | -0.3158         | -0.1483 | -0.0720 |
| Comprimento do vaso         | 0.0013          | 0.0003  | 0.0012  |
| Largura do vaso             | 0.0070          | 0.0004  | 0.0091  |
| Altura do raio              | -0.0025         | -0.0010 | -0.0008 |
| Espessura do raio           | 0.0684          | 0.0267  | 0.0038  |
| Frequencia de raio          | 0.0296          | 0.0063  | 0.0187  |
| Pontoação                   | -0.0062         | -0.0755 | -0.1820 |
| Colapso                     | -0.2070         | -0.0190 | -0.3491 |
| Nível de Rachadura          | 0.2071          | 0.0509  | -0.4423 |
| Velocidade de secagem       | -0.0059         | -0.0155 | -0.0188 |
| Correlação canônica         | 0.9837          | 0.9731  | 0.4190  |
| Pillai-Bartlett             | 0.0453          | 0.5809  | 0.9622  |