



**PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE VINTE ESPÉCIES DE  
MADEIRAS TROPICAIS COMERCIALIZADAS PELO ESTADO DE  
MATO GROSSO**

**EDILENE SILVA RIBEIRO**

**TESE DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA-UnB**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE VINTE ESPÉCIES  
DE MADEIRAS TROPICAIS COMERCIALIZADAS PELO  
ESTADO DE MATO GROSSO**

**EDILENE SILVA RIBEIRO**

**ORIENTADOR: JOAQUIM CARLOS GONÇALEZ**

**COORIENTADOR: PAULO RICARDO GHERARDI HEIN**

**TESE DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**PUBLICAÇÃO: PPGEFL.TD – 073/2017**

**BRASÍLIA/DF: FEVEREIRO – 2017**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**“PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE VINTE ESPÉCIES DE MADEIRAS  
TROPICAIS COMERCIALIZADAS PELO ESTADO DE MATO GROSSO”**

**EDILENE SILVA RIBEIRO**

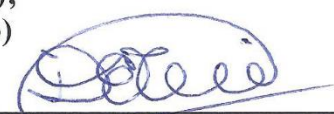
**TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS, DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL, DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR.**


**APROVADA POR:**


  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. JOAQUIM CARLOS GONÇALEZ** (Departamento de Engenharia Florestal – EFL/UnB);  
(Orientador)

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. ALEXANDRE FLORIAN DA COSTA** (Departamento de Engenharia Florestal – EFL/UnB);  
(Examinador Interno)

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. THIAGO OLIVEIRA RODRIGUES** (Departamento de Engenharia Florestal – EFL/UnB);  
(Examinador Interno)

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. DIVINO ETERNO TEIXEIRA** (Serviço Florestal Brasileiro - SFB);  
(Examinador Externo)

  
\_\_\_\_\_  
**Profa Dra. PATRÍCIA GOMES RIBEIRO AMORIM** (Universidade Federal do Acre - UFAC);  
(Examinadora Externa)

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. AILTON TEIXEIRA DO VALE** (Departamento de Engenharia Florestal – EFL/UnB).  
(Examinador Suplente)

**Brasília-DF, 07 de fevereiro de 2017.**

## FICHA CATALOGRÁFICA

RIBEIRO, EDILENE SILVA

R484p Propriedades tecnológicas de vinte espécies de madeiras tropicais comercializadas pelo estado de Mato Grosso.

xxvi, 183p., 210 x 297 mm (EFL/FT/UNB, Doutor, Ciências Florestais, 2017). Tese de Doutorado – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal.

Departamento de Engenharia Florestal

1. Madeira tropical

2. Colorimetria

3. Ultrassom

4. *Stress Wave*

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

RIBEIRO, E. S. (2017). Propriedades Tecnológicas de Vinte Espécies de Madeiras Tropicais Comercializadas Pelo Estado de Mato Grosso. Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL.TD 073-2017. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, DF, 183p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Edilene Silva Ribeiro

TÍTULO: Propriedades tecnológicas de vinte espécies de madeiras tropicais comercializadas pelo estado de Mato Grosso.

GRAU: Doutor ANO: 2017

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado e para emprestá-las somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa tese de doutorado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.



**Edilene Silva Ribeiro**

Rua G, Quadra 21, Lote 02, Residencial Chácara São José, Distrito Industrial, Cuiabá-MT, Brasil. CEP: 78098-900. E-mail: eng.edilene@gmail.com

## AGRADECIMENTOS

Sou uma pessoa abençoada e iluminada. Minha caminhada tem sido de muito trabalho e dedicação, só tenho a agradecer pela força e energia recebida em cada passo dado ao longo desses quatro anos de Doutorado.

Agradeço a Deus, por derramar bênçãos sobre minha vida, pois sem Ele nada seria possível.

- Ao Elton Lopes Moreira, meu marido, companheiro, amigo e corresponsável pelo meu engrandecimento pessoal, intelectual e profissional;
- Ao meu filho João Vitor Ribeiro Lopes, razão de toda minha luta;
- Aos meus pais, Maria Auxiliadora Silva Ribeiro e Vilson José Ribeiro, por demonstrar a importância dos estudos na minha vida e pelo seu amor incondicional;
- Ao meu orientador Joaquim Carlos Gonçalves, pela serenidade, competência e dedicação na orientação deste trabalho. Muito obrigada pela amizade, pela confiança e pelas oportunidades;
- Ao coorientador Paulo Ricardo Gherardi Hein pelos ensinamentos, auxílio com NIR e calibrações dos modelos, cruciais para a finalização do trabalho;
- Aos professores da PPGEFL-UnB e ao corpo técnico do departamento de Engenharia Florestal, pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho;
- À Dra. Patrícia Amorim, ao PhD. Divino Eterno Teixeira, Dr. Thiago Oliveira Rodrigues, Dr. Alexandre Florian e Dr. Ailton T. Vale pela participação na banca e valorosas contribuições.
- Às instituições de pesquisa UnB, LPF, UFLA, UFMT e IFMT, que contribuíram com o desenvolvimento e conclusão da tese;
- À Roberta Santos Souza, amiga de toda hora. Serei sempre grata por você ser uma pessoa ímpar em minha vida e pela presença nestes longos anos de graduação, mestrado e doutorado;
- Aos colegas do Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais José Raimundo Luduvico, Clarissa Melo, Marcella Hermida de Paula, Robert Mesquita, Joabel Raabe, Ricardo Faustino Teles, Fabrícia Menez Mota, Fábio Mesquita, Genilda Amaral, Jéssica Barbosa, Ilvan Lustosa Júnior;
- Ao Instituto Federal de Mato Grosso (IFMT) pelo afastamento concedido neste último ano, fundamental para finalização o trabalho;
- Ao Instituto de Defesa Agropecuária do Estado de Mato Grosso - INDEA-MT pela oportunidade de estágio, concessão dos dados para a dissertação – UFMT e pela parceria na coleta das amostras de madeiras para a tese de doutorado - UnB;
- À Coordenação de Aperfeiçoamento ao Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de pesquisa no primeiro ano de doutorado;
- A todos os colegas que de alguma forma estiveram presentes durante o desenvolvimento desta pesquisa, o meu agradecimento!

Agradeço a você caro leitor, por demonstrar interesse ao assunto desenvolvido nesta pesquisa e desejo que ela possa lhe ajudar de alguma forma na sua vida pessoal, acadêmica ou profissional.

*Ao meu esposo,  
Elton Lopes Moreira*

*Ao meu filho,  
João Vitor Ribeiro Lopes*

*Aos meus Pais,  
Maria Auxiliadora Ribeiro e Vilson José Ribeiro*

*Aos meus Irmãos,  
Jane Ribeiro (in memoriam) e Vilson J. R. Júnior*

*Aos meus sobrinhos,  
Vívian e Vilson Filho*

*Aos meus sogros,  
Maria Tereza e Laiziney Lopes*

*Dedico.*

## **BIOGRAFIA**

*Edilene Silva Ribeiro, filha de Maria Auxiliadora da Silva Ribeiro e Vilson José Ribeiro, nasceu dia 20 de março de 1980, em Torixoréu, estado de Mato Grosso. Concluiu o ensino fundamental na Escola Estadual Arthur Costa e Silva em 1994 (Torixoréu-MT) e o ensino médio na Escola Estadual Francisco Alexandre Ferreira Mendes em 2002 (Cuiabá-MT). Concluiu a graduação em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Mato Grosso (2004-2009). Em março de 2011 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso, onde desenvolveu projeto de pesquisa na área de Análise e Gestão dos Recursos Naturais, sob o título “Comercialização de madeira serrada de florestas naturais em Mato Grosso: um diagnóstico do setor de base florestal”, defendendo a dissertação de mestrado em fevereiro de 2013. Em abril de 2013 iniciou o doutorado no Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais da Universidade de Brasília – UnB na linha de pesquisa Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais, com o projeto de pesquisa “Propriedades tecnológicas de vinte espécies de madeiras tropicais comercializadas pelo estado de Mato Grosso”, defendendo a tese de doutorado em fevereiro de 2017. Em março de 2014 passou a integrar o quadro de docentes efetivos do Departamento de Agronomia do Instituto Federal de Mato Grosso.*

## **RESUMO**

### **PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE VINTE ESPÉCIES DE MADEIRAS TROPICAIS COMERCIALIZADAS PELO ESTADO DE MATO GROSSO**

**Autor: Edilene Silva Ribeiro**

**Orientador: Joaquim Carlos Gonzalez**

**Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais**

**Brasília, fevereiro de 2017.**

A atividade madeireira no estado de Mato Grosso tem uma importante participação na economia, estimando-se que entre 2010 e 2014 foram comercializados 32 milhões de m<sup>3</sup> de madeira. As espécies para fins comerciais continuam sendo exploradas seletivamente promovendo sua escassez. Por outro lado, existem espécies menos conhecidas com grande potencial de usos. Este trabalho teve por objetivo caracterizar tecnologicamente vinte espécies florestais comercializadas pelo estado de Mato Grosso por meio de técnicas destrutivas e não destrutivas: análise de imagens (macroscopia, microscopia e medição de fibras), flexão estática (MOR e MOE), colorimetria, técnicas acústicas (ondas ultrassônicas e ondas de tensão) e técnica óptica (espectroscopia no infravermelho próximo) com a finalidade de disponibilizar um banco de dados mais completo sobre estas madeiras. A pesquisa foi desenvolvida na Universidade de Brasília, em conjunto com a Universidade Federal de Lavras e o Laboratório de Produtos Florestais – Serviço Florestal Brasileiro. As técnicas de análise de imagem, colorimetria, ondas de tensão, ondas ultrassônicas e espectroscopia no infravermelho próximo se mostraram promissoras na predição das características avaliadas. A análise de imagens possibilitou a correta identificação das espécies em estudo e também a verificação da similaridade entre espécies a partir dos caracteres anatômicos. Para a análise colorimétrica de quinze espécies a face radial não diferiu estatisticamente da face tangencial para o parâmetro L\* (claridade). Assim, as cores das faces destas espécies são similares, não havendo diferença quanto ao desdobro no sentido radial ou tangencial. A estimativa do módulo de elasticidade dinâmico, tanto pelo equipamento de ultrassom como pelo *Stress wave* mostrou-se eficiente apesar de apresentar valores mais elevados quando comparado com o módulo de elasticidade estático. O infravermelho próximo provou ser eficiente para predição do comprimento das fibras e da densidade básica da madeira com as melhores correlações na validação cruzada. As tecnologias aplicadas nesse estudo permitiram concluir que as propriedades tecnológicas destas espécies podem ser preditas, indicando usos mais apropriados para cada madeira. A



disponibilidade de informações técnicas de espécies pouco conhecidas contribui para a sua valorização e também para aliviar a pressão sobre as madeiras tradicionais.

**Palavras chave:** Madeira tropical, colorimetria, ultrassom, *stress wave*, NIR, propriedades.

## **ABSTRACT**

### **TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF TWENTY SPECIES OF TROPICAL WOODS MARKETED BY MATO GROSSO STATE**

**Author: Edilene Silva Ribeiro**

**Advisor: Joaquim Carlos Gonçalez**

**Post-graduate Program on Forest Science**

**Brasília, february of 2017.**

Timber activity in the Mato Grosso State has an important participation in the economy, it is estimated that between 2010 and 2014, 32 million m<sup>3</sup> of wood were traded. Species for commercial purposes continue to be selectively exploited to support their scarcity. On the other hand, there are lesser known species with great potential for uses. The objective of this work was to characterize twenty forest species commercialized by the Mato Grosso State through destructive and non destructive techniques: image analysis (macroscopy, microscopy and fiber measurement), static bending (MOR and MOE), colorimetry, acoustic techniques (ultrasonic and stress waves) and optical technique (near infrared spectroscopy - NIR) in order to provide a more complete databank of these woods. The research was developed at the University of Brasilia, together with the Federal University of Lavras-MG and the Forest Products Laboratory - of the Brazilian Forest Service. The techniques of image analysis, colorimetry, stress waves, ultrasonic and near-infrared spectroscopy have shown promise in the prediction of the characteristics evaluated. The analysis of images allowed the correct identification of the species under study and also the verification of the similarity among species from the anatomical characteristics. For the colorimetric analysis of fifteen species the radial face did not differ statistically from the tangential face to the parameter L \* (clarity). Thus, the colors of the faces of these species are similar, and there is no difference when processing wood both radially and tangentially. The dynamic modulus of elasticity, both by the ultrasound equipment and stress wave, proved to be efficient despite presenting higher values when compared with the static modulus of elasticity. The near technique infrared proved to be efficient for predicting fiber length and basic wood density with the best correlations in cross-validation. The technologies applied in this study allowed the conclusion that the technological properties of these species can be predicted, indicating the most appropriate uses for each wood. The availability of technical information of lesser

known wood species contributes to their valuations and also to relieve the pressure on traditional woods.

**Key words:** Tropical wood, colorimetry, ultrasound, stress wave, NIR, properties.

# SUMÁRIO

<b>1 - INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	<b>1</b>
<b>2 - OBJETIVO GERAL</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	<b>3</b>
<b>2.2 - HIPÓTESE</b> .....	<b>4</b>
<b>3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>5</b>
<b>3.1 - CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA E COLORIMETRIA</b> .....	<b>5</b>
<b>3.1.1 – Anatomia - Análise de imagens</b> .....	<b>6</b>
3.1.1.1 - Caracteres Macroscópicos.....	6
3.1.1.2 - Caracteres Microscópicos .....	7
3.1.1.3 - Fibras da madeira .....	7
<b>3.1.2 - Colorimetria</b> .....	<b>8</b>
3.1.2.1 - Sistema colorimétrico CIE .....	9
<b>3.2 - PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS</b> .....	<b>12</b>
<b>3.2.1 - Métodos físicos e mecânicos</b> .....	<b>13</b>
3.2.1.1 – Métodos Físicos.....	13
3.2.1.2 - Métodos Mecânicos.....	16
<b>3.2.2 - Técnicas de avaliação não destrutiva da madeira</b> .....	<b>16</b>
3.2.2.1 – Técnicas acústicas/tensão .....	17
<b>3.3 - ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FT-NIR)</b> .....	<b>21</b>
<b>3.3.1 - Espectroscopia</b> .....	<b>22</b>
3.3.1.1 - Espectroscopia no Infravermelho Próximo (NIR) .....	23
3.3.1.2 - Espectroscopia NIR aplicada à indústria de base florestal.....	26
<b>3.3.2 - Estatística multivariada</b> .....	<b>28</b>
3.3.2.1 - Pré-tratamento espectral.....	29
3.3.2.2 - Seleção de variáveis latentes .....	29

3.3.2.3 - Análise por componentes principais (PCA).....	30
3.3.2.4 - Método de regressão por mínimos quadrados parciais (PLS).....	31
3.3.2.5 – Calibração e validação.....	32
<b>4 - MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>34</b>
<b>4.1 - MADEIRAS ESTUDADAS .....</b>	<b>34</b>
<b>4.2 - PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA .....</b>	<b>34</b>
<b>4.3 - CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DA MADEIRA.....</b>	<b>36</b>
<b>4.3.1 - Análise de imagens.....</b>	<b>36</b>
4.3.1.1 Macroscopia .....	36
4.3.1.2 - Microscopia.....	37
4.3.1.3 – Mensuração das Fibras .....	38
<b>4.3.2 - Colorimetria .....</b>	<b>40</b>
<b>4.3.3 - Propriedades Físicas da madeira.....</b>	<b>41</b>
4.3.3.1 - Densidade Básica .....	41
4.3.3.2 - Retratibilidade .....	42
<b>4.3.4 - Propriedades mecânicas da madeira.....</b>	<b>44</b>
4.3.4.1 - Flexão estática – MOE e MOR .....	44
<b>4.3.5 – Ensaio acústicos/Tensão .....</b>	<b>45</b>
4.3.5.1 - Ondas Ultrassônicas.....	45
4.3.5.2 - <i>Stress Wave</i> .....	47
<b>4.3.6 – Espectroscopia no infravermelho próximo .....</b>	<b>48</b>
4.3.6.1- Análise de referência.....	48
4.3.6.2 - Corpos de prova utilizados no ensaio.....	49
4.3.6.3 - Obtenção dos espectros .....	49
<b>4.3.7 - Análise estatística .....</b>	<b>50</b>
<b>5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>53</b>
<b>5.1 - DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA E MICROSCÓPICA DA MADEIRA .....</b>	<b>53</b>

<b>5.2 - COLORIMETRIA .....</b>	<b>94</b>
<b>5.3 - PROPRIEDADES FÍSICAS .....</b>	<b>106</b>
<b>5.3.1 - Densidade Básica e Retratibilidades .....</b>	<b>106</b>
<b>5.3.2 - Correlação entre a densidade básica (DB), retratibilidades (RR, RT, RV) e coeficiente de anisotropia (CA) das espécies em estudo.....</b>	<b>110</b>
<b>5.4 - PROPRIEDADES MECÂNICAS .....</b>	<b>114</b>
<b>5.4.1 - Módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidade estático (MOE) e módulo de elasticidade dinâmico por <i>Stress wave</i> (MOEds) e por Ultrassom (MOEdu) .....</b>	<b>114</b>
<b>5.4.2 - Correlação entre o <i>Stress Wave</i> (Vel e MOEds) e Flexão estática (MOR e MOE) das espécies estudadas.....</b>	<b>119</b>
<b>5.4.3 - Correlação entre o Ultrassom (US) e Flexão estática (MOR e MOE) das espécies estudadas .....</b>	<b>123</b>
<b>5.5 – ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIRS) .....</b>	<b>127</b>
<b>5.5.1 - Espectros na madeira (estudos preliminares dos espectros).....</b>	<b>127</b>
<b>5.5.2 - Análise de componentes principais (PCA).....</b>	<b>130</b>
<b>5.5.3 - Predição das propriedades tecnológicas das madeiras avaliadas.....</b>	<b>132</b>
<b>5.5.4 - Calibração e validação para o comprimento de fibra .....</b>	<b>134</b>
<b>5.5.5 - Calibração e validação para a densidade básica (DB).....</b>	<b>136</b>
<b>5.5.6 - Calibração e validação para a estabilidade dimensional.....</b>	<b>139</b>
<b>5.5.7 - Calibração e validação para o Módulo de Ruptura da madeira (MOR) e Módulo de Elasticidade (MOE) .....</b>	<b>145</b>
<b>6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>149</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>152</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>176</b>
<b>1 – DADOS QUANTITATIVOS DOS CARACTERES ANATÔMICOS .....</b>	<b>177</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 3.1</b> - Porcentagens de retração da madeira. ....	<b>15</b>
<b>Tabela 5.1</b> - Valores médios dos parâmetros colorimétricos e classificação da cor das espécies em estudo.....	<b>94</b>
<b>Tabela 5.2</b> - Valores médios dos Parâmetros colorimétricos para as faces radial e tangencial das espécies em estudo. ....	<b>100</b>
<b>Tabela 5.3</b> - Valores médios, mínimos, máximos e coeficientes variação da densidade básica, das retratibilidades e dos coeficientes de anisotropia das espécies estudadas.....	<b>107</b>
<b>Tabela 5.4</b> - Correlação entre Densidade Básica (DB), Retratibilidades (Rr, Rt, Rv) e Coeficiente de Anisotropia (CA) para as madeiras estudadas.....	<b>110</b>
<b>Tabela 5.5</b> - Valores médios do Módulo de ruptura (MOR), Módulo de elasticidade estático (MOE), Módulo de elasticidade dinâmico por <i>Stress Wave</i> (MOEds) e Módulo de elasticidade dinâmico por Ultrassom (MOEdu) das espécies estudadas. ....	<b>115</b>
<b>Tabela 5.6</b> - Correlação de Person entre <i>Stress Wave</i> e Flexão estática para as espécies estudadas.....	<b>119</b>
<b>Tabela 5.7</b> - Correlação de Person entre Ultrassom e Flexão estática para as espécies estudadas.....	<b>123</b>
<b>Tabela 5.8</b> - Estatística descritiva das propriedades anatômicas, físicas e mecânicas das 18 espécies utilizadas como referências para as calibrações. ....	<b>133</b>
<b>Tabela 5.9</b> - Calibrações e validações para estimativa do comprimento das fibras da madeira das espécies estudadas .....	<b>134</b>
<b>Tabela 5.10</b> - Calibrações e validações para estimativa a densidade da madeira das espécies estudadas.....	<b>136</b>
<b>Tabela 5.11</b> - Calibrações e validações para a estimativa da retratibilidade radial da madeira das espécies estudadas .....	<b>140</b>
<b>Tabela 5.12</b> - Calibrações e validações para a estimativa da retratibilidade tangencial da madeira das espécies estudadas. ....	<b>140</b>
<b>Tabela 5.13</b> - Calibrações e validações para a estimativa da retratibilidade volumétrica da madeira das espécies estudadas .....	<b>141</b>

<b>Tabela 5.14</b> - Validação independente dos modelos para a madeira maciça de Teca nas faces radial e tangencial.....	<b>144</b>
<b>Tabela 5.15</b> - Calibrações e validações para estimativa do módulo de ruptura (MOR) em MPa das espécies estudadas .....	<b>145</b>
<b>Tabela 5.16</b> - Calibrações e validações para estimativa do módulo de elasticidade (MOE) em MPa das espécies estudadas .....	<b>146</b>
<b>Tabela 1</b> - Dados quantitativos dos caracteres anatômicos com valores médios, mínimo, máximo, desvio padrão e coeficiente de variação. ....	<b>177</b>
<b>Tabela 2</b> - Dados quantitativos dos caracteres anatômicos das fibras com valores médios, mínimo, máximo, desvio padrão e coeficiente de variação. ....	<b>180</b>



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 3.1</b> - Sistema informatizado da Universidade de Alberta utilizado na mensuração das fibras da madeira. ....	7
<b>Figura 3.2</b> - a) e b) - Sistema $L^*a^*b^*$ .....	10
<b>Figura 3.3</b> - Representação do sistema colorimétrico CIELAB (1976). ....	10
<b>Figura 3.4</b> - Espectro da radiação eletromagnética; a) a região do visível e b) a região do infravermelho.....	23
<b>Figura 3.5</b> - Região de detecção dos grupos funcionais em NIRS .....	24
<b>Figura 3.6</b> - Esquema de um espectrofotômetro FT-NIR com transformada de Fourier ...	25
<b>Figura 3.7</b> - Espectro gerado pelo espectrofotômetro de infravermelho próximo das madeiras de <i>Eucalyptus</i> e <i>Pinus</i> .....	25
<b>Figura 3.8</b> - Representação da matriz X decomposta em produtos de matrizes de posto 1. ....	30
<b>Figura 4.1</b> - Esquema de confecção dos corpos de prova. ....	35
<b>Figura 4.2</b> - Caracterização macroscópica por análise de imagem; a) microscópio estereoscópio com por câmera digital Olympus acoplado ao computador; b) programa de análise de imagem DP2-BSW®. ....	37
<b>Figura 4.3</b> - Preparo e confecção das lâminas permanentes para análise microscópica; a) Série alcoólica; b) clarificação dos cortes histológicos com hipoclorito de sódio (50%). ..	38
<b>Figura 4.4</b> - Lâminas semi-permanentes; a) confecção das lâminas semi-permanentes para mensuração das fibras; b) corante utilizado na confecção das lâminas. ....	39
<b>Figura 4.5</b> - Caracterização das fibras por análise de imagem; a) microscópio com câmera digital Olympus acoplado ao computador; b) programa de análise de imagem DP2-BSW®. ....	40
<b>Figura 4.6</b> - Espectrofotômetro utilizado no ensaio de colorimetria; a) espectrofotômetro <i>ColorEye</i> ® XTH; b) captura dos espectros e utilização do <i>software</i> Color iControl. ....	40
<b>Figura 4.7</b> - Amostras utilizadas nos ensaios de densidade básica e reprodutibilidade; a) corpos de prova ensaiados; b) mensuração utilizando balança de precisão e paquímetro .....	42
<b>Figura 4.8</b> - Ensaio com o Ultrassom; a) equipamento ultrassom; b) corpo de prova submetido ao ensaio de ondas ultrassônicas. ....	46

<b>Figura 4.9</b> - Ensaio de ondas de tensão; a) Equipamento <i>Stress wave Timer 239A</i> (Metriguard Inc.); b) corpos de prova submetidos ao ensaio. ....	<b>47</b>
<b>Figura 4.10</b> - Espectrofotômetro no infravermelho próximo com transformada de Fourier marca: Bruker Optics, Alemanha, modelo tensor 37.....	<b>50</b>
<b>Figura 5.1</b> - Fotomicrografia da madeira de <i>Qualea brevipedicellata</i> – a) plano transversal, b) radial, c) tangencial, aumento de 20x e escala de 1mm. ....	<b>54</b>
<b>Figura 5.2</b> - Fotomicrografia nas seções a) transversal, b) radial e c) tangencial de <i>Q. brevipedicellata</i> escala 100µm. ....	<b>55</b>
<b>Figura 5.3</b> - Fotomicrografia das fibras de <i>Q. brevipedicellata</i> consideradas na mensuração do a) comprimento (escala 1mm), b) largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular (escala 20µm) e c) descrição microscópica. ....	<b>55</b>
<b>Figura 5.4</b> - Fotomicrografia da madeira de <i>Goupia glabra</i> – a) plano transversal, b) radial e c) tangencial e com aumento de 20x e escala de 1mm. ....	<b>56</b>
<b>Figura 5.5</b> - Fotomicrografia nas seções a) transversal, b) radial e c) tangencial de <i>G. glabra</i> escala 100µm. ....	<b>57</b>
<b>Figura 5.6</b> - Fotomicrografia das fibras de <i>G. glabra</i> consideradas na mensuração do a) comprimento (escala 1mm), b) largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular (escala 20µm) e c) descrição microscópica. ....	<b>57</b>
<b>Figura 5.7</b> - Fotomicrografia da madeira de <i>Mezilaurus itauba</i> – a) plano transversal, b) radial e c) tangencial e com aumento de 20x e escala de 1mm. ....	<b>58</b>
<b>Figura 5.8</b> - Fotomicrografia nas seções a) transversal, b) radial e c) tangencial de <i>M. itauba</i> escala 100µm. ....	<b>59</b>
<b>Figura 5.9</b> - Fotomicrografia das fibras de <i>M. itauba</i> consideradas na mensuração do a) comprimento (escala 1mm), b) largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular (escala 20µm) e c) descrição microscópica. ....	<b>59</b>
<b>Figura 5.10</b> - Fotomicrografia da madeira de <i>Erisma uncinatum</i> – a) plano transversal, b) radial e c) tangencial e com aumento de 20x e escala de 1mm. ....	<b>60</b>
<b>Figura 5.11</b> - Fotomicrografia nas seções a) transversal, b) radial e c) tangencial de <i>E. uncinatum</i> escala 100µm. ....	<b>61</b>

<b>Figura 5.12</b> - Fotomicrografia das fibras de <i>E. uncinatum</i> consideradas na mensuração do a) comprimento (escala 1mm), b) largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular, presença de elementos de vasos (escala 20µm) c) descrição microscópica. ....	<b>61</b>
<b>Figura 5.13</b> - Fotomacrografia da madeira de <i>Hymenolobium petraeum</i> – a) plano transversal, b) radial e c) tangencial e com aumento de 20x e escala de 1mm. ....	<b>62</b>
<b>Figura 5.14</b> - Fotomicrografia nas seções a) transversal, b) radial e c) tangencial de <i>H. petraeum</i> escala 100µm. ....	<b>63</b>
<b>Figura 5.15</b> - Fotomicrografia das fibras de <i>H. petraeum</i> consideradas na mensuração do a) comprimento (escala 1mm), b) largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular (escala 20µm) e c) descrição microscópica. ....	<b>63</b>
<b>Figura 5.16</b> - Fotomacrografia da madeira de <i>Manilkara huberi</i> – a) plano transversal, b) radial e c) tangencial e com aumento de 20x e escala de 1mm. ....	<b>64</b>
<b>Figura 5.17</b> - Fotomicrografia nas seções a) transversal, b) radial e c) tangencial <i>M. huberi</i> escala 100µm. ....	<b>65</b>
<b>Figura 5.18</b> - Fotomicrografia das fibras de <i>M. huberi</i> consideradas na mensuração do a) comprimento (escala 1mm), b) largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular (escala 20µm) c) descrição microscópica. ....	<b>65</b>
<b>Figura 5.19</b> - Fotomacrografia da madeira de <i>Apuleia leiocarpa</i> – a) plano transversal, b) radial e c) tangencial e com aumento de 20x e escala de 1mm. ....	<b>66</b>
<b>Figura 5.20</b> - Fotomicrografia nas seções a) transversal, b) radial e c) tangencial de <i>A. leiocarpa</i> escala 100µm. ....	<b>67</b>
<b>Figura 5.21</b> - Fotomicrografia das fibras de <i>A. leiocarpa</i> consideradas na mensuração do a) comprimento (escala 1mm), b) largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular (escala 20µm) e c) descrição microscópica. ....	<b>67</b>
<b>Figura 5.22</b> - Fotomacrografia da madeira de <i>Dipterix odorata</i> – a) plano transversal, b) radial e c) tangencial e com aumento de 20x e escala de 1mm. ....	<b>68</b>
<b>Figura 5.23</b> - Fotomicrografia nas seções a) transversal, b) radial e c) tangencial <i>D. odorata</i> escala 100µm. ....	<b>69</b>
<b>Figura 5.24</b> - Fotomicrografia das fibras de <i>D. odorata</i> consideradas na mensuração do a) comprimento (escala 1mm), b) largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular (escala 20µm) e c) descrição microscópica. ....	<b>69</b>

<b>Figura 5.25</b> - Fotomicrografia da madeira de <i>Simarouba amara</i> – a) plano transversal, b) radial e c) tangencial e com aumento de 20x e escala de 1mm. ....	<b>70</b>
<b>Figura 5.26</b> - Fotomicrografia nas seções a) transversal, b) radial e c) tangencial de <i>S. amara</i> escala 100µm. ....	<b>71</b>
<b>Figura 5.27</b> - Fotomicrografia das fibras de <i>S. amara</i> consideradas na mensuração do a) comprimento (escala 1mm), b) largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular (escala 20µm) e c) descrição microscópica. ....	<b>71</b>
<b>Figura 5.28</b> - Fotomicrografia da madeira de <i>Cedrelinga cateniformis</i> – a) plano transversal, b) radial e c) tangencial e com aumento de 20x e escala de 1mm. ....	<b>72</b>
<b>Figura 5.29</b> - Fotomicrografia nas seções a) transversal, b) radial e c) tangencial <i>C. cateniformis</i> escala 100µm. ....	<b>73</b>
<b>Figura 5.30</b> - Fotomicrografia das fibras de <i>C. cateniformis</i> consideradas na mensuração do a) comprimento (escala 1mm), b) largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular (escala 20µm) e c) descrição microscópica. ....	<b>73</b>
<b>Figura 5.31</b> - Fotomicrografia da madeira de <i>Couratari oblongifolia</i> – a) plano transversal, b) radial e c) tangencial e com aumento de 20x e escala de 1mm. ....	<b>74</b>
<b>Figura 5.32</b> - Fotomicrografia nas seções a) transversal, b) radial e c) tangencial <i>C. oblongifolia</i> escala 100µm. ....	<b>75</b>
<b>Figura 5.33</b> - Fotomicrografia das fibras de <i>C. oblongifolia</i> consideradas na mensuração do a) comprimento (escala 1mm), b) largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular (escala 20µm) e c) descrição microscópica. ....	<b>75</b>
<b>Figura 5.34</b> - Fotomicrografia da madeira de <i>Hymenaea courbaril</i> – a) plano transversal, b) radial e c) tangencial e com aumento de 20x e escala de 1mm. ....	<b>76</b>
<b>Figura 5.35</b> - Fotomicrografia nas seções a) transversal, b) radial e c) tangencial de <i>H. courbaril</i> escala 100µm. ....	<b>77</b>
<b>Figura 5.36</b> - Fotomicrografia das fibras de <i>H. courbaril</i> consideradas na mensuração do a) comprimento (escala 1mm), b) largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular (escala 20µm) e c) descrição microscópica. ....	<b>77</b>
<b>Figura 5.37</b> - Fotomicrografia da madeira de <i>Dinizia excelsa</i> – a) plano transversal, b) radial e c) tangencial e com aumento de 20x e escala de 1mm. ....	<b>78</b>

<b>Figura 5.38</b> - Fotomicrografia nas seções a) transversal, b) radial e c) tangencial <i>D. excelsa</i> escala 100µm. ....	<b>79</b>
<b>Figura 5.39</b> - Fotomicrografia das fibras de <i>D. excelsa</i> consideradas na mensuração do a) comprimento (escala 1mm), b) largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular (escala 20µm) e c) descrição microscópica. ....	<b>79</b>
<b>Figura 5.40</b> - Fotomicrografia da madeira de <i>Handroanthus serratifolius</i> – a) plano transversal, b) radial e c) tangencial e com aumento de 20x e escala de 1mm. ....	<b>80</b>
<b>Figura 5.41</b> - Fotomicrografia nas seções a) transversal, b) radial e c) tangencial de <i>H. serratifolius</i> escala 100µm. ....	<b>81</b>
<b>Figura 5.42</b> - Fotomicrografia das fibras de <i>H. serratifolius</i> consideradas na mensuração do a) comprimento (escala 1mm), b) largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular (escala 20µm) e c) descrição microscópica. ....	<b>81</b>
<b>Figura 5.43</b> - Fotomicrografia da madeira de <i>Pouteria egregia</i> – a) plano transversal, b) radial e c) tangencial e com aumento de 20x e escala de 1mm. ....	<b>82</b>
<b>Figura 5.44</b> - Fotomicrografia nas seções a) transversal, b) radial e c) tangencial <i>P. egregia</i> escala 100µm. ....	<b>83</b>
<b>Figura 5.45</b> - Fotomicrografia das fibras de <i>P. egregia</i> consideradas na mensuração do a) comprimento (escala 1mm), b) largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular (escala 20µm) e c) descrição microscópica. ....	<b>83</b>
<b>Figura 5.46</b> - Fotomicrografia da madeira de <i>Tetragastris altissima</i> – a) plano transversal, b) radial e c) tangencial e com aumento de 20x e escala de 1mm. ....	<b>84</b>
<b>Figura 5.47</b> - Fotomicrografia nas seções a) transversal, b) radial e c) tangencial <i>T. altissima</i> escala 100µm. ....	<b>85</b>
<b>Figura 5.48</b> - Fotomicrografia das fibras de <i>T. altissima</i> consideradas na mensuração do a) comprimento (escala 1mm), b) largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular (escala 20µm) e c) descrição microscópica. ....	<b>85</b>
<b>Figura 5.49</b> - Fotomicrografia da madeira de <i>Vochysia máxima</i> – a) plano transversal, b) radial e c) tangencial e com aumento de 20x e escala de 1mm. ....	<b>86</b>
<b>Figura 5.50</b> - Fotomicrografia nas seções a) transversal, b) radial e c) tangencial <i>V. máxima</i> escala 100µm. ....	<b>87</b>

<b>Figura 5.51</b> - Fotomicrografia das fibras de <i>V. máxima</i> consideradas na mensuração do a) comprimento (escala 1mm), b) largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular (escala 20µm) e c) descrição microscópica. ....	<b>87</b>
<b>Figura 5.52</b> - Fotomicrografia da madeira de <i>Diploptropis purpurea</i> – a) plano transversal, b) radial e c) tangencial e com aumento de 20x e escala de 1mm. ....	<b>88</b>
<b>Figura 5.53</b> - Fotomicrografia nas seções a) transversal, b) radial e c) tangencial de <i>D. purpurea</i> escala 100µm. ....	<b>89</b>
<b>Figura 5.54</b> - Fotomicrografia das fibras de <i>D. purpurea</i> consideradas na mensuração do a) comprimento (escala 1mm), b) largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular (escala 200µm) e c) descrição microscópica. ....	<b>89</b>
<b>Figura 5.55</b> - Fotomicrografia da madeira de <i>Euplassa pinnata</i> – a) plano transversal, b) radial e c) tangencial e com aumento de 20x e escala de 1mm. ....	<b>90</b>
<b>Figura 5.56</b> - Fotomicrografia nas seções a) transversal, b) radial e c) tangencial <i>E. pinnata</i> escala 100µm. ....	<b>91</b>
<b>Figura 5.57</b> - Fotomicrografia das fibras de <i>E. pinnata</i> consideradas na mensuração do a) comprimento (escala 1mm), b) largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular (escala 20µm) e c) descrição microscópica. ....	<b>91</b>
<b>Figura 5.58</b> - Fotomicrografia da madeira de <i>Lonchocarpus cultratus</i> – a) plano transversal, b) radial e c) tangencial e com aumento de 20x e escala de 1mm. ....	<b>92</b>
<b>Figura 5.59</b> - Fotomicrografia nas seções a) transversal, b) radial e c) tangencial <i>L. cultratus</i> escala 100µm. ....	<b>93</b>
<b>Figura 5.60</b> - Fotomicrografia das fibras de <i>L. cultratus</i> consideradas na mensuração do a) comprimento (escala 1mm), b) largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular (escala 20µm) e c) descrição microscópica. ....	<b>93</b>
<b>Figura 5.61</b> - Curva de reflectância das espécies em estudo, em função do comprimento de onda. ....	<b>105</b>
<b>Figura 5.62</b> - Comparação entre os Módulos de Elasticidade Estático e Dinâmico das espécies florestais estudadas. ....	<b>118</b>
<b>Figura 5.63</b> - Espectros de absorvância NIR para a espécie abiurana na região espectral de 12000 a 4000 cm <sup>-1</sup> . ....	<b>127</b>
<b>Figura 5.64</b> - Espectros de absorvância na região espectral de 12.000 a 11.000 cm <sup>-1</sup> . ....	<b>127</b>

<b>Figura 5.65</b> - Espectros brutos das madeiras de dezoito espécies em estudo com janela espectral de 9000-4000 $\text{cm}^{-1}$ .....	<b>128</b>
<b>Figura 5.66</b> - Espectros de absorvância pré-tratados por normatização da média. ....	<b>129</b>
<b>Figura 5.67</b> - Espectros de absorvância pré-tratados por Standard Normal Variate Method (SNV) e com a 1ª derivada de acordo com o procedimento descrito por SAVITZKY e GOLAY (1964). ....	<b>130</b>
<b>Figura 5.68</b> - PCA mostrando semelhanças nos espectros médios de cada espécie florestal. ....	<b>131</b>
<b>Figura 5.69</b> - Variância residual versus leverage das 360 amostras estudadas. ....	<b>132</b>
<b>Figura 5.70</b> - Calibração e validação cruzada do modelo para o comprimento médio das fibras das 18 espécies em estudo obtidas em laboratório pelos métodos tradicionais e preditos por NIRS.....	<b>136</b>
<b>Figura 5.71</b> - Calibração e validação cruzada do modelo para a densidade básica das 18 espécies em estudo mensuradas no laboratório pelos métodos tradicionais e preditos por NIRS. ....	<b>139</b>
<b>Figura 5.72</b> - Calibração e validação cruzada do modelo para a retratibilidade radial das 18 espécies em estudo mensuradas no laboratório pelos métodos tradicionais e preditos por NIRS. ....	<b>142</b>
<b>Figura 5.73</b> - Calibração e validação cruzada do modelo para a retratibilidade tangencial das 18 espécies em estudo mensuradas no laboratório pelos métodos tradicionais e preditos por NIRS. ....	<b>142</b>
<b>Figura 5.74</b> - Calibração e validação cruzada do modelo para a retratibilidade volumétrica das 18 espécies em estudo mensuradas no laboratório pelos de métodos tradicionais e preditos por NIRS.....	<b>143</b>
<b>Figura 5.75</b> - Calibração e validação cruzada do modelo para o módulo de ruptura das 18 espécies em estudo mensuradas no laboratório pelos métodos tradicionais e preditos por NIRS. ....	<b>146</b>
<b>Figura 5.76</b> - Calibração e validação cruzada do modelo para o módulo de elasticidade das 18 espécies em estudo mensuradas no laboratório pelos métodos tradicionais e preditos por NIRS. ....	<b>147</b>

## LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

a*	- Eixo cromático vermelho-verde
ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	- <i>American Society for Testing and Materials</i>
b	- Largura do corpo de prova
b*	- Eixo cromático amarelo-azul
BSI	- <i>British Standard Institution</i>
C	- Cromaticidade
CA	- Coeficiente de anisotropia
CF	- Comprimento da fibra
CIE	- <i>Comission International de L'Eclairage</i>
CIPEM	- Centro das Indústrias Produtoras e Exportadoras de Madeira do Estado MT
CLS	- <i>Classic Least Squares</i> – Quadrados mínimos clássicos
cm	- Centímetro
COPANT	- <i>Comisión Panamericana de Normas Técnicas</i>
CPs	- Componentes Principais
d	- Deformação correspondente à carga no limite proporcional (cm)
D <sub>12%</sub>	- Densidade aparente do corpo de prova a 12% de umidade
DB	- Densidade Básica
DL	- Diâmetro do lume
Dr	- Dimensão do corpo de prova na direção radial
Dt	- Dimensão do corpo de prova na direção tangencial
E <sub>c0</sub>	- Compressão paralela as fibras
EM <sub>v</sub>	- Rigidez a flexão da madeira verde
EN	- <i>European Norm</i>
EP	- Espessura da parede
fc <sub>0s</sub>	- Resistência à compressão paralela da madeira seca
fc <sub>0v</sub>	- Resistência à compressão paralela da madeira verde
FENF	- Faculdade de Engenharia Florestal
fM <sub>s</sub>	- Resistência a flexão da madeira seca
fM <sub>v</sub>	- Resistência a flexão da madeira verde
FT-NIR	- Espectroscopia no Infravermelho Próximo com Transformada de Fourier
g	- Aceleração da gravidade



g.cm <sup>-3</sup>	-Gramas por centímetro cúbico
GFs	-Guias Florestais
h	- Altura do corpo de prova
h	- Vetores
h*	-Ângulo de tinta
H90	- Dureza Janka perpendicular
IAWA	- <i>International Association of Wood Anatomist</i>
IMAZON	- Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia
IMEQ/MT	- Instituto de Metrologia e Qualidade do Estado de Mato Grosso
INDEA-MT	- Instituto de Defesa Agropecuária do Estado de Mato Grosso
INPA	- Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
IPT	-Instituto de pesquisas tecnológicas
ISO	- <i>International Organization for Standardization</i>
J	- Joules
kg	- Quilograma
kHz	- Quilohertz
kN	- Quilonewton
L	- Comprimento do vão livre
L*	-Claridade ou luminosidade
LF	- Largura total da fibra
Lo	- Distância percorrida pela onda de tensão
LPF	- Laboratório de Produtos Florestais
LTM	- Laboratório de Tecnologia da Madeira
LV	- Número de variáveis latentes
LVL	- Painéis Laminados Unidirecionais
M	- Massa seca
M <sub>12%</sub>	- Massa do corpo de prova a 12% de umidade
m <sup>3</sup>	-Metro Cúbico
MDF	- <i>Medium Density Fiberboard</i>
MLR	- <i>Multiple Linear Regression</i> - Regressão Linear Múltipla
mm	- Milímetro
MOE	- Módulo de Elasticidade Estático
MOEd	- Módulo de Elasticidade Dinâmico
MOEds	- Módulo de Elasticidade Dinâmico Obtido pelo <i>Stress Wave</i>

MOEdu	- Módulo de Elasticidade Dinâmico Obtido pelo Equipamento de Ultrassom
MOR	- Módulo de Ruptura
MPa	- Megapascal
NBR	- Norma Brasileira
NIR	- <i>Near-infrared spectroscopy</i> - Espectroscopia no Infravermelho Próximo
Nm	-Nanometros
ns	- Não significativo
OIMT	- <i>Organización Internacional de las Maderas Tropicales</i>
P	- Carga no limite proporcional (kg)
PCA	- <i>Principal Component Analysis</i> - Análise de Componentes Principais
PCR	- <i>Principal Component Regression</i> - Regressão por Componentes Principais
PLS	- <i>Partical Least Squares</i> - Mínimos Quadrados Parciais
PLS-1	- Método de Regressão dos Mínimos Quadrados Parciais
Pmáx	- Carga máxima aplicada
PMFS	- Planos de Manejo Florestal
$P^h$	- <i>loadings</i>
PRESS	- Soma dos Quadrados dos Erros de Previsão
R	- Direção Radial
R <sup>2</sup> c	- Coeficiente de determinação da calibração
R <sup>2</sup> cv	- Coeficiente de determinação do modelo na validação cruzada
RD	- Face Radial
RMSEC	- Erro padrão de calibração
RMSEP	- <i>Root Mean Square Error of Prediction</i>
RMSEV	- Erro padrão da validação
RPD	- Maior relação de desempenho do desvio
RR	- Retratibilidade Radial
RT	- Retratibilidade Tangencial
RV	- Retratibilidade volumétrica
SECV	- Erro padrão da validação cruzada
SEFAZ	- Secretaria de Estado da Fazenda
SEMA	-Secretaria do Meio Ambiente do Mato Grosso
SFB	- Serviço Florestal Brasileiro
SNV	- <i>Standard Normal Variate</i> – Variação Normal Padrão
SUDAM	- Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia

T	- Direção Tangencial
t	- Tempo de deslocamento da onda de tensão
TG	- Face tangencial
<i>Th</i>	- <i>Scores</i>
TU	- Teor de umidade
UnB	- Universidade de Brasília
UR	- Umidade Relativa
Vels	- Velocidade de propagação de onda de tensão
Velu	- Velocidade da onda ultrassônica
VL	- Variáveis Latentes
Vol <sub>12%</sub>	- Volume do corpo de prova
Vsaturado	- Volume da amostra em condição saturada
Vseco	- Volume da amostra em condição seca
$\lambda$	- Comprimento de Onda
$\mu\text{m}$	- Micrometro
$\mu\text{s}$	- Microsegundo

## 1 - INTRODUÇÃO GERAL

A Amazônia no Brasil, é uma das principais regiões produtoras de madeira de florestas tropicais no mundo, ficando atrás da Indonésia e da Índia. Essa produção de madeira está concentrada nos estados do Pará, Mato Grosso e Amazonas com aproximadamente 30,8 milhões de m<sup>3</sup> em 2013/2014 (OIMT, 2015).

A madeira da Amazônia Legal é destinada majoritariamente ao mercado interno. Em 2009 as exportações de madeira nativa na forma de madeira serrada e/ou beneficiada representaram 21% do volume total, enquanto a grande maioria (79%) foi comercializada no mercado interno (VERISSÍMO e PEREIRA, 2014).

Os Estados Unidos, a França e a China foram os principais países importadores dos produtos madeireiros da Amazônia. A China importou principalmente madeira serrada (92%). A França importou madeira serrada (48%) na mesma proporção de beneficiada (48%). Os Estados Unidos importaram em média 87% de madeira beneficiada (PEREIRA et al., 2010).

Em 2009 na Amazônia Legal foram identificadas 2.226 empresas madeireiras em funcionamento. Nesse ano, essas madeireiras extraíram em torno de 14,2 milhões de metros cúbicos de madeira em tora nativa, equivalentes a 3,5 milhões de árvores. Aproximadamente 47% dessa matéria-prima foi extraída no estado do Pará. O volume de madeira em tora extraída em Mato Grosso correspondeu a 28% do total, enquanto em Rondônia, representou 16%. O restante (9%) ocorreu nos estados do Acre e Amazonas (3% cada), seguido do Amapá, Maranhão e Roraima (com cerca de 1% cada um) (SFB e IMAZON, 2010).

De acordo com Veríssimo e Pereira (2014), o Mato Grosso é o segundo maior produtor de madeira Amazônica e o principal fornecedor de madeira ao estado de São Paulo (RIBEIRO, 2013). O setor de base florestal constitui-se na 4ª economia do Estado com um PIB florestal de R\$ 57.294.192,00, ou seja, 15% do PIB industrial (CIPEM, 2012).

Nos anos de 2010 a 2014 no estado de Mato Grosso foram transportados cerca de 32 milhões de m<sup>3</sup> de madeira distribuídos nas guias florestais (GFs) tora, serrada e industrializada/beneficiada CIPEM (2014). Foram comercializadas madeiras em toras, madeiras serradas (bloco de filé, pranchas, tábuas, caibros, vigas, lascas, moirões), réguas,

quadrados e retângulos, pontaletes, palanques, postes, aproveitamento pré-cortado, balancins para cerca, madeira beneficiada (portas, janelas, casas pré-fabricadas, cabos de vassoura, cabos para ferramentas torneados, assoalho, deck, forro, parede, lambril, barra de cama beneficiada, jogos de batente e portais, cruzetas com pinos, ripas e matajuntas torneadas, ripão e sarrafos, guarnição, cordão/meia cana, alizar, cantoneira, rodapé, molduras beneficiadas ou aparelhadas, taco liso, parquetes, paletes), dormentes, madeira laminada faqueada ou torneada e madeira compensada (SEFAZ, 2012).

O estado de Mato Grosso comercializou 411 espécies florestais no período de 2004 a 2010, distribuídas em 97 gêneros e 34 famílias botânicas. As principais espécies comercializadas em termos de volume foram *Qualea* sp. (Cambará 19%), *Goupia glabra* (Cupiúba 16%), *Mezilaurus itauba* (Itaúba 13%), *Erismia uncinatum* (Cedrinho 13%), *Hymenolobium* sp. (Angelim pedra 5%), *Manilkara huberi* (Maçaranduba 5%), *Apuleia leiocarpa* (Garapeira 5%), *Dipteryx odorata* (Cumarú 2%), *Simarouba amara* (marupá 1%), *Cedrelinga cateniformis* (Cedrorana 1%), sendo essas 10 espécies responsáveis por 80% do total comercializado (RIBEIRO, 2013).

Ainda segundo o autor, outras 10 espécies também foram comercializadas no período, respondendo por mais 3% do volume, totalizando 83%. Estas espécies que também apresentam grande potencial tecnológico são: *Couratari oblongifolia* (Tauari 0,8%), *Hymenaea courbaril* (Jatobá 0,8%), *Dinizia excelsa* (Angelim Vermelho 0,6%), *Handroanthus serratifolius* (Ipê 0,5%), *Pouteria* sp. (Abiurana 0,3%), *Tetragastris altissima* (Muiracatiara 0,2%), *Vochysia* sp. (Cambará rosinha 0,1%), *Diploptropis purpurea* (Sucupira 0,07%), *Euplassa* sp. (Louro faia 0,0005%) e *Lonchocarpus* sp. (Embira de sapo 0,0001%).

Observa-se que os órgãos ambientais do estado de Mato Grosso, para algumas espécies, conseguiram identificar somente o gênero e o nome vulgar, como a *Qualea* sp. – cambará e a *Euplassa* sp. – louro faia, e ainda, que há divergências na identificação de espécies entre os órgãos estaduais SEMA – Secretaria do Meio Ambiente de Mato Grosso, de onde são liberados os planos de manejo florestal (PMFS) e o INDEA – Instituto de Defesa Agropecuária do Estado de Mato Grosso, órgão que fiscaliza toda madeira comercializada no Estado.

Recorrendo à literatura para ajudar a completar a identificação das espécies e/ou esclarecer tais divergências, verificam-se dados incompletos e disparidade entre os mesmos, existindo uma lacuna que não permite a convergência de informações entre estas instituições. Além disso, é frequente a demanda pelas indústrias que utilizam estas espécies sobre as suas propriedades tecnológicas.

Este estudo é justificado pela ausência de informações a respeito das espécies de madeira comercializadas atualmente em Mato Grosso e por colaborar com a correta identificação dessas madeiras para o comércio de produtos florestais do Estado, além de contribuir para um maior conhecimento dessas espécies, direcionando-as para um melhor aproveitamento em seus usos. Diante do exposto, o estudo tecnológico (anatomia, colorimetria, propriedades físicas, propriedades mecânicas, propriedades ópticas e suas correlações) das espécies florestais comercializadas em Mato Grosso se torna de fundamental importância não somente para os órgãos florestais do Estado, mas também para as indústrias que comercializam e utilizam essas madeiras.

## **2 - OBJETIVO GERAL**

A caracterização tecnológica de vinte espécies florestais comercializadas pelo estado de Mato Grosso por meio de técnicas destrutivas e não destrutivas: análise de imagens (macroscopia, microscopia e medição de fibras), flexão estática (MOR e MOE), colorimetria, técnicas acústicas (ondas ultrassônicas e ondas de tensão) e técnica óptica (espectroscopia no infravermelho próximo).

### **2.1 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) Identificar os caracteres gerais macroscópicos, microscópicos e dimensões de fibras por meio da técnica de análise de imagem;
- b) Determinar a cor e os parâmetros colorimétricos: claridade ( $L^*$ ), coordenadas cromáticas ( $a^*$ ,  $b^*$ ), saturação da cor ( $C$ ) e ângulo de tinta ( $h^*$ ) da madeira por meio do sistema CIELAB, 1976;

- c) Determinar a densidade básica, as retratibilidades radial, tangencial e volumétrica da madeira e analisar suas correlações;
- d) Avaliar as constantes elásticas da madeira (técnicas de ultrassom e *stress wave*), correlacionando com o módulo de elasticidade estático (MOE) e com módulo de ruptura (MOR);
- e) Através da técnica de espectroscopia no infravermelho próximo estimar as propriedades anatômicas (fibras), físicas (densidade e retratibilidades) e mecânicas (MOE e MOR), construindo modelos de calibração multivariada utilizando o método de regressão dos mínimos quadrados parciais (PLS-1).

## **2.2 - HIPÓTESE**

Através da caracterização tecnológica das espécies florestais comercializadas pelo estado de Mato Grosso utilizando técnicas destrutivas e não destrutivas será possível fornecer subsídios para a correta utilização destas espécies pelas indústrias, bem como auxiliar o setor florestal estadual.

### **3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 - CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA E COLORIMETRIA**

A caracterização e a identificação de espécies madeireiras levam ao conhecimento de suas qualidades, orientando um melhor aproveitamento da madeira em usos mais apropriados. Isso contribui para a utilização racional das espécies. Além disso, possibilita introduzir madeiras menos conhecidas no mercado valorizando-as através de seus usos em segmentos que agregam valores (GONÇALEZ et al., 2001; FARIAS, 2015).

Para a identificação da madeira é necessário fazer um estudo criterioso de sua estrutura anatômica, já que cada espécie possui características únicas. O estudo anatômico da madeira é um método seguro e prático para identificação das espécies baseando-se na descrição dos tipos e frequências das células e dos tecidos do xilema secundário das espécies lenhosas. A caracterização anatômica da espécie, aliada aos estudos das propriedades físicas e mecânicas contribui para o uso correto da madeira, maximizando o seu potencial (ALVES et al., 2012).

A cor é uma propriedade organoléptica da madeira, principalmente por impressionar os órgãos sensitivos humanos, sendo observada na superfície longitudinal tangencial do cerne. É um dos atributos mais importantes para a identificação e indicação de usos de espécies de madeira, principalmente quando relacionada aos aspectos de textura e desenho. O crescimento da colorimetria na área acadêmica e, sobretudo industrial, tem inserido a propriedade cor nos estudos de caracterização da madeira (GONÇALEZ et al., 2001; ZENID e CECCANTINI, 2007).

Na madeira a cor é originada por substâncias corantes depositadas no interior das células que constituem o material lenhoso, bem como impregnadas nas suas paredes celulares. Entre estas substâncias podem ser citadas resinas, gomas, derivados tânicos e corantes específicos, muitos dos quais ainda não foram suficientemente estudados sob o ponto de vista químico (MORESCHI, 2010). Ainda segundo este autor, de uma forma geral, madeiras leves e macias são mais claras e madeiras pesadas e duras são mais escuras. E em regiões quentes predominam as madeiras com cores variadas e mais escuras (amarronzadas), enquanto que em regiões de clima frio predominam as madeiras denominadas “madeiras brancas”.



### **3.1.1 – Anatomia - Análise de imagens**

O estudo das características anatômicas da madeira é o método mais seguro para sua identificação, sendo de simples aplicação para a correta nomenclatura (ZENID, 2007). As propriedades da madeira estão agrupadas em anatômicas e sensoriais ou organolépticas. Para Oliveira (1998) as características anatômicas são as camadas de crescimento, os tipos de raio, os parênquimas e poros, entre outros. As características sensoriais são aquelas determinadas pelos sentidos, sem o uso de equipamentos ou instrumentos ópticos. As principais características sensoriais são cor, brilho, odor/cheiro, grã, textura, densidade, resistência ao corte, figura/desenho e distinção entre cerne e alburno. Essas características são facilitadoras da identificação da madeira (ZENID e CECCANTINI, 2007; MORESCHI, 2012).

Pigozzo (2011) discorre que o estudo de identificação da madeira pode ser realizado por meio de chaves de identificação (revisão bibliográfica), programas computacionais (IMAC, madeiras comerciais do Brasil), iconografias ilustradas (MANIERI et al., 1983) e por fim, por meio de comparações da anatomia de espécies desconhecidas com amostras de referência de xilotecas (HOADLEY, 1990). Para o processo de identificação das espécies florestais a observação dos caracteres anatômicos pode ser feita com uma lupa conta fios com 10x de aumento (processo macroscópico) ou com a apresentação de cortes histológicos analisados com microscópio em diversos aumentos (processo microscópico) (PIGOZZO, 2011).

#### **3.1.1.1 - Caracteres Macroscópicos**

Burger e Richter (1991) discorrem que para a análise macroscópica da madeira é necessário a utilização de alguns objetos como instrumentos de corte afiado (faca, lâmina, estilete), lupa do tipo conta fios de 10x de aumento para visualização dos elementos anatômicos (grã, anéis de crescimento, raios, poros, fibras, parênquimas) e umedecimento da superfície. São instrumentos simples, baratos e a análise pode ser realizada em qualquer local, no entanto para alguns caracteres ou peculiaridades de algumas espécies torna-se indispensável a utilização do microscópio para a correta identificação.

### 3.1.1.2 - Caracteres Microscópicos

A caracterização microscópica é minuciosa e exige o consumo de produtos químicos e equipamentos refinados e de elevado custo. Os métodos utilizados são: maceração, retirada das amostras, preparo do material, microtomia, descoloração e coloração das seções, montagem das lâminas histológicas (permanentes e semipermanentes), captura de imagens digitais, mensuração e quantificação dos elementos anatômicos (feitas por meio de *softwares*) O micrótomo é um aparelho de precisão usado para seccionar amostras de madeiras nos planos radial, tangencial e longitudinal, com espessuras micrométricas ( $\mu\text{m}$ ). A microtécnica trata dos recursos, procedimentos e métodos de preparação da madeira para observações microscópicas (BURGER e RICHTER, 1991).

### 3.1.1.3 - Fibras da madeira

De acordo com Micko et al. (1982) citados por Calderon (2012), na década de 1980 foi desenvolvido o primeiro *software* de medição de fibras da madeira na Universidade de Alberta, Canadá. Michael Micko e colaboradores descreveram os equipamentos e como utilizá-los na mensuração das fibras, estes eram compostos por um projetor de ampliação, um painel gráfico, mouse, controlador de painel e um computador acoplado em uma impressora (Figura 3.1).

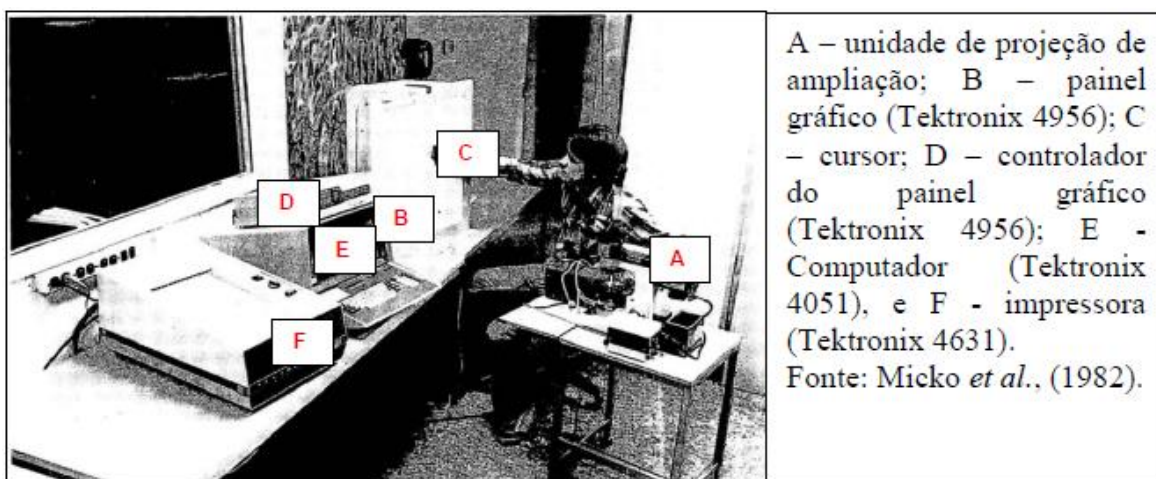


Figura 3.1 – Sistema informatizado da Universidade de Alberta utilizado na mensuração das fibras da madeira.

Fonte: Micko et al. (1982) adaptado de Calderon (2012).

As informações de comprimento, largura ou diâmetro e espessura de parede celular das fibras permitem inferir inúmeras informações da qualidade da madeira. Entretanto, quando são estabelecidas relações entre suas dimensões obtêm-se informações mais precisas, as quais podem melhor correlacionar-se com a qualidade da madeira, seus produtos e usos (TRIANOSKI, 2012).

### **3.1.2 - Colorimetria**

Conhecida como a ciência da mensuração da cor, a colorimetria é aplicada em indústrias, laboratórios e no comércio para expressar a cor de forma numérica de acordo com padrões normatizados internacionalmente, tornando a comunicação da cor mais exata e simples. Sua aplicação é ampla e inclui a avaliação da cor de plásticos, tintas, produtos têxteis e farmacêuticos, madeira, alimentos, cosméticos, entre outros (WENDT, 2006).

A colorimetria é uma técnica moderna para ser aplicada à caracterização da cor da madeira. A caracterização tecnológica da madeira comumente é baseada nos estudos anatômicos e nas características físico-mecânicas, e em menor grau por outros parâmetros como a cor, constituintes químicos, durabilidade, trabalhabilidade, secagem, entre outros, que inferem na melhor utilização de determinada espécie. Esses aspectos são pouco explorados devido à dificuldade de obtenção dos dados, utilização de laboratórios, tempo despendido na coleta e custo elevado dos equipamentos (GONÇALEZ et al., 2001).

Utilizando o sistema CIELAB 1976 por meio das coordenadas cromáticas observa-se a qualidade do material, pelo aspecto cor, além de permitir separar as madeiras em grupos de tonalidade, facilitando a aquisição e o uso específico. A tecnologia para determinar a cor da madeira vem evoluindo nos últimos anos fazendo da propriedade cor um fator chave de qualidade da madeira (GONÇALEZ et al., 2002).

Em suma, a colorimetria quantitativa é uma metodologia objetiva e eficaz para a mensuração da cor da madeira, descrevendo numericamente cada elemento da composição de uma cor por meio de aparelho apropriado (GONÇALEZ et al., 2001; MORI et al., 2005).

### 3.1.2.1 - Sistema colorimétrico CIE

Por consenso às especificações de padrões de observação para o uso em colorimetria e fotometria são designadas pela CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage* - Comissão Internacional de Iluminação). A CIE é uma organização autônoma, não representado por qualquer órgão público, que desde o seu surgimento tem sido aceita como a maior autoridade no que se refere à iluminação e é reconhecida pela ISO (*International Organization for Standardization*) como um corpo internacional de padronização (PEREZ, 2001).

A cor é uma mistura de três atributos: tonalidade (que depende do comprimento de onda), intensidade luminosa e saturação, todos eles relacionados intimamente com a luz que está incidindo sobre o objeto. Quando se altera a fonte de luz, altera-se também a sua cor (MINOLTA, 1998). As cores primárias dos pigmentos são definidas como as cores que subtraem ou absorvem uma cor primária de luz e refletem ou transmitem as outras duas. Assim, as cores primárias dos pigmentos são magenta, ciano e o amarelo (LIMA, 2008).

O conceito de tricomia aditiva é derivado de experimentos nos quais cores são combinadas pela mistura de três luzes coloridas: vermelho, verde e azul, consideradas como cores primárias aditivas ou subtrativa (BILLMEYER e SALTZMAN, 1966; SILVA, 2006; LIMA, 2008). Ainda segundo estes autores, no sistema CIE há diferentes escalas para representação das cores. As mais importantes são: valores tristímulos XYZ, coordenadas de cromaticidade  $Y_{xy}$  e CIELAB.

Macedo (2008) citando Gonzalez (1993), relata que o sistema CIE é um método que define a sensação da cor baseado em três elementos: luminosidade ou claridade, tonalidade ou matiz e saturação ou cromaticidade. A luminosidade é expressa pela variável  $L^*$  e define a escala cinza entre o branco e o preto, assumindo o valor 0 para o preto absoluto e 100 para o branco absoluto. Pode ser apresentado graficamente por uma reta perpendicular a um círculo, passando pelo centro. A tonalidade é expressa pelas cores primárias vermelho, verde, amarelo e azul. Os pigmentos vermelho e verde são definidos pelas coordenadas  $+a^*$  e  $-a^*$ , enquanto os pigmentos amarelo e azul pelas coordenadas  $+b^*$  e  $-b^*$  e cada variável vai de 0 a 60 (sem unidade de medida) de acordo com a Figura 3.2.

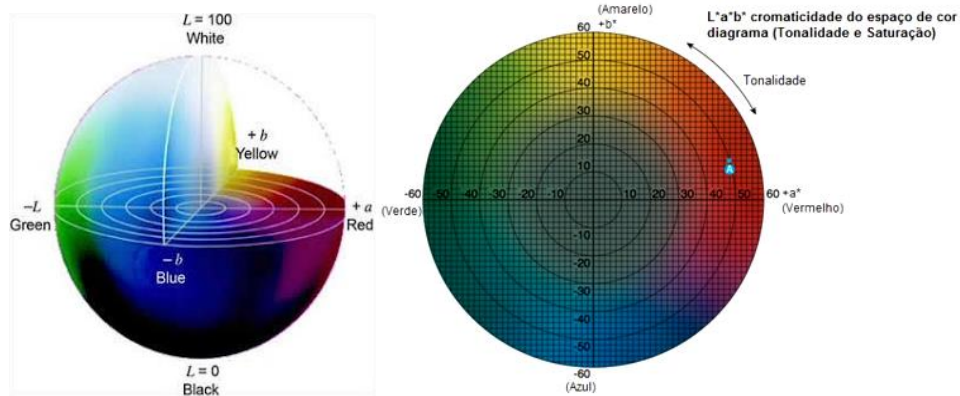


Figura 3.2 – Sistema  $L^*a^*b^*$   
 Fonte: Minolta (1998); Wendt (2006).

Conhecida como ângulo de tinta ou derivada de  $a^*$  e  $b^*$  a tonalidade descrita pela variável  $h^*$  é dada pelo ângulo do círculo. A saturação da cor ou cromaticidade, representada pela variável ( $C$ ) é o desvio a partir do ponto correspondente ao cinza no eixo  $L^*$  ou de luminosidade e quanto mais distante do eixo, mais saturada será a cor (Figura 3.3) (GONÇALEZ, 1993).

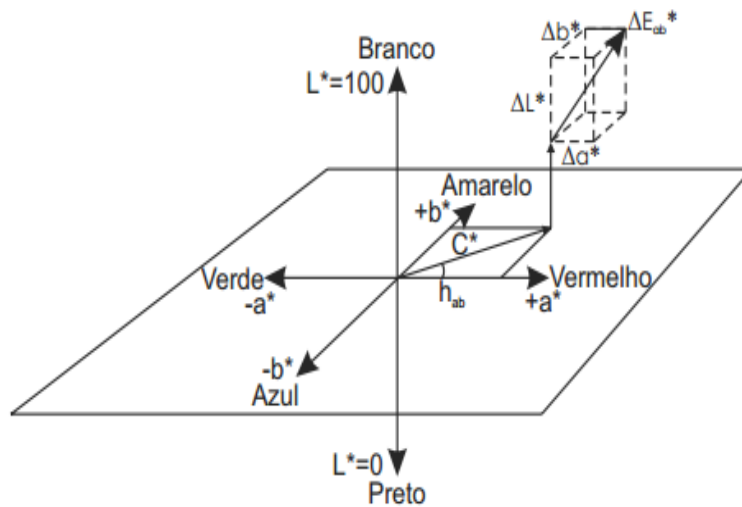


Figura 3.3 - Representação do sistema colorimétrico CIELAB (1976).  
 Fonte: Minolta (1998).

No espaço psicométrico CIELAB as cores são descritas por luminosidade ( $L^*$ ), coordenada  $a^*$  (conteúdo do vermelho ao verde) e coordenada  $b^*$  (conteúdo do amarelo ao azul) ou pelo uso de coordenadas cilíndricas de luminosidade ( $L^*$ ), tonalidade ( $h^*$ ) e a cromaticidade ( $C$ ), diretamente relacionadas com as coordenadas de Munsell (VARELA, 2002). Gonçalves

(1993) utilizou em seu trabalho o sistema CIELAB 1976, cujo espaço de cores é estabelecido pelas variáveis cromáticas  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  e  $h^*$  em um mesmo sistema.

A cor da madeira pode ser modificada pelo teor de umidade, pela temperatura, pelas degradações provocadas pelo ataque de organismos xilófagos ou, ainda, pelas reações fotoquímicas dos componentes químicos presentes em sua estrutura anatômica (CAMARGOS e GONÇALEZ, 2001; CALDERON, 2012).

Um dos trabalhos com maior relevância no Brasil na área de colorimetria foi desenvolvido por Camargos e Gonzalez (2001), em que foram estudadas trezentas e cinquenta espécies florestais, agrupadas em uma tabela de cor, sendo constatado que o ângulo de tinta ( $h^*$ ) de todas as cores das madeiras estudadas se enquadraram de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  ( $1^\circ$  quadrante do sistema CIELAB de 1976). A maior claridade ( $L^*$ ) para a madeira foi de 86,44, correspondente à cor branca (para um branco absoluto de 100) e a menor claridade, correspondendo à cor escura, foi de 25,93 (preto absoluto igual a 0). O ângulo de tinta teve variação entre 13,94 (vermelho) e 87,00 (amarelo) e a cromaticidade teve como maior valor 47,03 e menor valor 2,31.

Lima et al. (2013a) avaliaram o envelhecimento da madeira por meio de uma câmara de intemperismo e utilizando o espectrofotômetro. Observaram o envelhecimento do Pau-marfim (*Balfourodendron riedelianum*) utilizando 8.807 medições colorimétricas após receber ciclos de radiação ultravioleta. O sistema CIELAB de 1976 mostrou as modificações das cores na madeira durante o processo de envelhecimento.

Visando sempre o seu uso final, nos estudos sobre a caracterização tecnológica de madeiras, a definição da cor destaca-se como um fator fundamental para a caracterização da qualidade da madeira, que influenciará diretamente no seu aspecto e, conseqüentemente, na sua comercialização. Torna-se importante o estudo, pois aumentará conhecimento da madeira, permitindo uma triagem objetiva das espécies com ajuda das coordenadas cromáticas e pode, por exemplo, melhorar o valor da madeira no mercado (GONÇALEZ et al., 2001).

### **3.2 - PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS**

A madeira de folhosas possui um sistema biológico complexo e muito variável, fazendo com que as suas propriedades químicas, anatômicas, físicas e mecânicas variem entre espécies, entre indivíduos de uma mesma espécie e entre diferentes partes de um mesmo indivíduo (OLIVEIRA e SILVA, 2003). Diversos trabalhos vêm sendo desenvolvidos com o intuito de detectar os fatores que afetam essas propriedades, que podem ser inerentes à própria madeira ou de sítio, fertilidade, microfauna, clima e ambiente (BAKER et al., 2004; LOBÃO et al., 2004).

As propriedades mecânicas da madeira são dependentes e estão ligadas a influências internas como a densidade básica, grã irregular da madeira, teor de umidade, estrutura anatômica, ataque de xilófagos, anéis de crescimento, lenho juvenil, presença de nós, teor de extrativos, crescimento excêntrico do indivíduo e influências externas como umidade e temperatura, entre outros (EVANS et al., 2000; MORESCHI, 2012).

A densidade básica é um indicador da qualidade da madeira e de suas propriedades, tornando-se um dos principais parâmetros utilizados devido a sua ligação com outros atributos da madeira e a facilidade de mensuração (VALE et al., 1999; MATTOS et al., 2011; TRAUTENMÜLLER et al., 2014).

As variações de densidade encontradas em espécies de florestas tropicais são oriundas da estrutura anatômica de cada indivíduo como quantidade e volume dos vasos e parênquimas, espessura da parede celular, dimensão das fibras e em proporção menor a quantidade de extrativos (FOELKEL et al., 1971; OLIVEIRA e SILVA, 2003).

Embora a umidade não seja uma característica intrínseca da madeira, seu estudo torna-se significativo por afetar o comportamento do material quanto à instabilidade dimensional, resistência mecânica e durabilidade. Por ser um material higroscópico, suas variações dimensionais geradas pela contração e inchamento associados à anisotropia, constituem características não desejáveis, limitando sua utilização, ou ainda, exigindo técnicas específicas para o uso da madeira (DURLO e MARCHIORI, 1992; SILVA e OLIVEIRA, 2003).

Segundo Araújo (2007), as propriedades físicas e mecânicas são mensuradas por meio de ensaios em laboratório, empregando equipamentos próprios para este fim e seguindo normas específicas. As normas de ensaio mais empregadas mundialmente são: *American Society for Testing and Materials* (ASTM), *British Standard Institution* (BSI), *International Organization for Standardization* (ISO) e *Comisión Panamericana de Normas Técnicas* (COPANT). No Brasil, utilizam-se também as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Rodrigues e colaboradores (2014) determinaram as propriedades físicas e mecânicas de cinco espécies madeireiras da Amazônia meridional e concluíram que a densidade influenciou intensamente na resistência mecânica da madeira.

Silveira et al. (2013) avaliaram o teor de umidade e a densidade básica da madeira de 9 espécies comerciais amazônicas com o objetivo de agrupar espécies com o teor de umidade e densidade básica semelhantes para compor cargas mistas de espécies em câmaras industriais de secagem da madeira.

Em suma, entre as propriedades mecânicas da madeira destaca-se a ação de forças externas, tais como flexão, tração, compressão, cisalhamento e fendilhamento. E entre as propriedades físicas a densidade, expressa pela razão entre massa e volume e a retratibilidade, que se refere à variação das dimensões da madeira (radial, tangencial e volumétrica) em função do teor de umidade (ARAÚJO, 2007; BOWYER et al., 2007; MORESCHI, 2012).

### **3.2.1 - Métodos físicos e mecânicos**

#### 3.2.1.1 – Métodos Físicos

A densidade é um parâmetro muito utilizado na classificação e qualidade da madeira (MORESCHI, 2010). Entre as várias propriedades da madeira, a densidade é a mais importante, pois além de ser determinada com facilidade, tem forte correlação com a massa, composição celular, demais propriedades físicas, mecânicas, térmicas, acústicas e elétricas (BATISTA, 2012).



A densidade é influenciada por vários fatores, tais como: espessura da parede celular, quantidade de vasos, dimensões das fibras, teor de extrativos, origem da semente, condições climáticas e sistema de implantação e condução da floresta. Ela tem uma variação significativa em função do local de origem da espécie, da taxa de crescimento, espaçamento, competição, idade dos indivíduos e entre gêneros, espécies, entre árvores da mesma espécie, dentro da mesma árvore e, ainda, no sentido base-topo e medula-casca (FERREIRA, 1968; OLIVEIRA et al., 2005a).

De acordo com Stamm (1964), a densidade anidra da madeira de pau-de-balsa (*Ochroma* sp.), por exemplo, está em torno de 0,10 g/cm<sup>3</sup>, enquanto a de lignum vitae (*Guaiacum* sp.) chega até 1,30 g/cm<sup>3</sup>. Ainda segundo o mesmo autor, a densidade pode variar mais de 10 vezes entre espécies florestais e cerca de duas vezes dentro de uma mesma espécie.

Para o IPT (Instituto de pesquisas tecnológicas) a densidade da madeira pode ser classificada em quatro categorias: densidade  $\leq 0,40$ g/cm<sup>3</sup> como madeira muito leve; densidade de 0,40g/cm<sup>3</sup> a 0,55g/cm<sup>3</sup> como madeira leve; densidade de 0,55g/cm<sup>3</sup> a 0,75g/cm<sup>3</sup> como madeira moderadamente pesada e por fim densidade 0,75g/cm<sup>3</sup> a 0,95g/cm<sup>3</sup> como madeira pesada (MAINIERI e CHIMELO, 1989). Ferraz et al. (2004), classificando a densidade de espécies florestais da Amazônia utilizaram três grupos de densidade: leve ( $< 0,5$  g/cm<sup>3</sup>), moderadamente pesada (0,5 a 0,8 g/cm<sup>3</sup>) e pesada a muito pesada ( $> 0,8$  g/cm<sup>3</sup>).

A retratibilidade é definida como a variação nas dimensões da madeira quando há alteração no seu teor de umidade, resultando na movimentação (inchamento e contração) pela perda ou ganho de água abaixo do ponto de saturação das fibras (OLIVEIRA, 1998; MARQUES et al., 2012).

De acordo com Oliveira e colaboradores (2010) a retratibilidade ocorre pelo fato das moléculas de água estarem ligadas por pontes de hidrogênio às microfibrilas dos polissacarídeos que formam a madeira, de forma que quando estas são forçadas a sair, deixam um vazio. As forças de coesão existentes então tendem a reaproximar essas microfibrilas, causando a contração da madeira. O evento da expansão é o inverso, ou seja, quando a água é adsorvida pela madeira tende a penetrar entre as microfibrilas e causa o seu afastamento e, como consequência, o inchamento da peça de madeira.

Para a maioria das espécies de folhosas e coníferas as diferenças entre as porcentagens de contração nas faces radial e tangencial são as principais causadoras de trincas, rachaduras, empenamentos, encanoamentos e torcimentos no processo de secagem da madeira. A Tabela 3.1 mostra os valores normalmente encontrados para cada retração da madeira.

Tabela 3.1 – Porcentagens de retração da madeira.

<b>Direção</b>	<b>Retração total (%)</b>
Longitudinal (L)	0,1 - 0,9
Radial (R)	2,4 - 11,0
Tangencial (T)	3,5 - 15,0
Volumétrica (V)	6,0 - 27,0

Fonte: Andrade (2011).

O coeficiente de anisotropia é a razão entre as contrações radial e tangencial e representam o comportamento da madeira em relação à secagem. A retratibilidade longitudinal é quase desprezível e a retratibilidade volumétrica é maior que a retratibilidade tangencial que é maior que a retratibilidade radial. Os valores do coeficiente de anisotropia (CA) variam de 1,3 para madeira de elevada estabilidade dimensional até para valores superiores a 3,0 para madeiras com elevada instabilidade dimensional, valores que são comuns em algumas espécies de eucalipto (OLIVEIRA, 1988, 1998).

Outra classificação para o coeficiente de anisotropia (CA) foi proposta por Klitzke (2007), em que:

- < 1,5 – madeira considerada muito estável;
- 1,6 até 2,0 – madeira considerada de média estabilidade;
- 2,0 até 2,5 – madeira de média instabilidade;
- > 2,6 – madeira considerada muito instável.

Uma madeira com coeficiente anisotrópico (CA) igual a 1 representa igualdade de contração das faces radial e tangencial, ou seja, madeira de estabilidade dimensional e sem formação de tensões internas (DURLO e MACHIORI, 1992).

### 3.2.1.2 - Métodos Mecânicos

A flexão estática é uma das análises mais comuns em relação aos métodos não destrutivos, é baseada no princípio de correlação entre a resistência, representada pelo módulo de ruptura (MOR) e a elasticidade, representada pelo módulo de elasticidade (MOE). No ensaio convencional a peça de madeira é flexionada por poucos instantes em máquina de ensaio universal para medir seu valor de rigidez, o que permite estimar a resistência à flexão da peça por meio da correlação entre o MOE e o MOR (GORNIAK e MATOS, 2000).

O módulo de elasticidade e o módulo de ruptura são propriedades mecânicas da madeira que expressam a rigidez e a resistência, respectivamente. Para Scanavaca e Garcia (2004), o módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE) são dois parâmetros muito importantes na caracterização tecnológica da madeira, porque os dois estimam a resistência do material submetido a uma força aplicada perpendicularmente ao eixo longitudinal da peça. Essas propriedades são dependentes da densidade básica, da porcentagem de madeira juvenil, da largura dos anéis, do ângulo das microfibrilas, da inclinação da grã, da quantidade de extrativos, do teor de umidade, da intensidade ao ataque de insetos, do tipo e da localização e quantidade de nós, dentre outros fatores (EVANS et al., 2000).

### 3.2.2 - Técnicas de avaliação não destrutiva da madeira

Avaliações não destrutivas são técnicas para identificar as propriedades de um determinado material ou verificar a existência de descontinuidades ou defeitos por meio de princípios físicos definidos, sem alterar suas características físicas, químicas, mecânicas ou dimensionais e sem interferir em seu uso posterior (ROSS et al., 1998; RIBEIRO, 2009).

Para Oliveira et al. (2002), os métodos não destrutivos apresentam vantagens em comparação com os métodos convencionais para caracterização da madeira, como: possibilidade de avaliar a integridade estrutural de peças de madeira, rapidez para analisar uma grande população, manter a peça intacta e versatilidade para adequar-se a uma rotina padronizada em uma linha de produção.

De acordo com Erikson et al. (2000), a avaliação não destrutiva pode ser utilizada pelas indústrias para melhorar o controle de qualidade dos processos através de uma maior uniformidade na matéria-prima e de seus derivados.

### 3.2.2.1 – Técnicas acústicas/Tensão

#### Ultrassom

Considerando a importância do método não destrutivo baseado na propagação de ondas sonoras, alguns benefícios podem ser apresentados além da determinação das características de um material sem alterar sua capacidade de uso posterior. Alguns deles são: a flexibilidade; medições de velocidades e atenuação das ondas em uma larga variedade de amostras com as mais variadas geometrias; geração de produtos de maior valor econômico; seleção adequada de árvores e produtos ao uso final; determinação indireta das propriedades da madeira com precisão, eficiência e rapidez na obtenção dos dados (BUCUR, 1996, 1999; MATOS, 1997; PUEHRINGER, 2002; MATOS 2002; SHIMOYAMA, 2005; SOUZA, 2006; CASTELO, 2007; TRIANOSKI, 2012).

Segundo Calegari (2006), os fatores que influenciam na propagação de ondas ultrassônicas são: propriedades anatômicas, físicas (densidades básica e aparente), morfológicas (tipos de lenhos e ângulo de grã), presença de defeitos (nós e rachaduras), tamanho das amostras ensaiadas, condições de temperatura, umidade relativa e as técnicas de medição.

De acordo com Vivian et al. (2012), a técnica de ultrassom também tem sido utilizada, dentre outras finalidades, para o controle e efeito do teor de umidade da madeira (COSTA, 2005; CALEGARI et al., 2007), avaliação da qualidade das peças de madeira (MINÁ et al., 2004; CARREIRA et al., 2006), e estimativas das propriedades físico-mecânicas da madeira (OLIVEIRA, 2001; NOGUEIRA, 2003).

Candian e Sales (2009) enfatizam que o ultrassom é uma técnica não destrutiva baseada na propagação de ondas, podendo ser utilizada em árvores e estruturas de madeira. A caracterização das propriedades mecânicas usando a propagação de ondas ultrassônicas baseia-se na relação entre a densidade, a velocidade do som e o módulo de elasticidade.

De acordo com Gonzalez et al. (2001), classificam-se como ondas ultrassônicas aquelas com frequência superior a 20 kHz. O método é baseado na análise da propagação das ondas ultrassônicas e sua relação com as constantes elásticas da madeira. Assim, a onda é transmitida em uma determinada direção e ao encontrar um obstáculo livre propagação é

refletida, voltando ao aparelho emissor, ou então, percorre o material e é captada por um receptor. Obtendo-se a velocidade a propagação de onda, em conjunto com densidade da madeira, é possível calcular sua constante elástica.

O ultrassom apresenta diversas vantagens, como a determinação da existência de nós na madeira, o ataque de xilófagos, a direção das fibras, sua decomposição, a avaliação de elementos estruturais de madeira em uso e a estimativa de alguns parâmetros como o módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) (GORNIAK e MATOS, 2000; CANDIAN e SALES, 2009).

Para Rocha (2003) o uso do ultrassom é bem prático e simples, funcionando por meio de um circuito eletrônico fechado que emite pulsos elétricos conduzidos por cabos e convertidos em ondas elásticas pelo cristal piezoelétrico, nos transdutores. As vibrações mecânicas se deslocam pela amostra retardando o sinal emitido pelo gerador. O sinal retardado é recuperado por outro cristal piezoelétrico, sendo as vibrações então amplificadas e transformadas novamente em pulsos elétricos para medir o tempo de propagação. A velocidade é calculada a partir da distância de deslocamento da onda e do tempo de percurso da onda sonora.

A utilização do ultrassom na avaliação de madeiras, utilizando equipamentos portáteis, pode ter grande aplicação prática do ponto de vista industrial. Pesquisadores como Gonzalez et al. (2001), Puccini (2002), Carrasco e Azevedo Junior (2003), Miná et al. (2004), Pico et al. (2004) Shimoyama (2005), Dyk e Rice (2005), Calegari (2006), Trinca e Gonçalves (2009), Stangerlin et al. (2010a), Del Menezzi et al. (2010), Vivian et al. (2012), Ribeiro et al. (2013), Delucis et al. (2014), Ribeiro et al. (2016) comprovaram a eficiência do método ultrassonoros para determinar parâmetros mecânicos de madeiras utilizando estatística descritiva, regressões e testando correlações entre umidade da madeira, densidade, módulo de elasticidade estático (MOE) e o módulo de elasticidade dinâmico (MOEd).

### *Stress wave*

*Stress wave* é um método não destrutivo que consiste na aplicação de ondas de tensão no material e na análise do fenômeno de propagação desse estímulo. A velocidade de

propagação de uma onda de tensão induzida e sua atenuação no material são os principais parâmetros analisados (TARGA et al., 2005).

A técnica das ondas de tensão faz uso de um indutor de impacto mecânico ou ultrassônico para transmitir uma onda ao espécime analisado. Dois transdutores acelerômetros medem o tempo de propagação da onda, gerada pelo impacto do pêndulo sobre os sensores piezoelétricos, que detectam a passagem da onda e mostram o resultado da velocidade no painel (CALDERON, 2012).

De acordo com Gomes (2007), o equipamento é utilizado para medir o tempo de propagação e a velocidade das ondas de tensão, tanto em campo (árvores vivas), como em corpos de prova em laboratório. É um método muito utilizado para classificação não destrutiva de chapas de madeira (compensados, laminados, etc.) na indústria. A velocidade das ondas de tensão está associada ao módulo de elasticidade dinâmico da madeira, sendo, portanto, um indicativo da rigidez do material.

Cunha e Matos (2010) classificaram vigas de madeira laminada de *Pinus taeda* por meio do método de *Stress wave*, com o aparelho *Timer METRIGUARD 239A* e estabeleceram a relação entre os resultados obtidos nesses ensaios e os encontrados com as técnicas de avaliação convencionais. Realizaram análise de regressão com estabelecimento da equação de ajuste de correlação e concluíram que houve baixa correlação entre as formas de obtenção do módulo de elasticidade das vigas.

Iwakiri et al. (2010) avaliaram a qualidade dos painéis laminados unidirecionais (LVL) produzidos com lâminas de *Schizolobium amazonicum* (paricá), *Eucalyptus saligna* e *Pinus taeda*. Avaliaram a resistência da linha de cola dos painéis por meio de métodos destrutivos (esforços de cisalhamento e flexão estática) e não destrutivos (*Stress wave*). Os resultados de MOE e MOR demonstraram que, mesmo com a baixa massa específica da madeira de paricá, pode-se afirmar que a sua utilização na produção de painéis LVL é tecnicamente viável. Concluíram que a classificação das lâminas de paricá não influenciou de forma significativa os resultados de resistência da linha de cola.

Trianoski (2012) em seu terceiro capítulo da tese avaliou a velocidade de propagação de ondas de tensão em árvores e toras de pinus tropicais utilizando o aparelho *Timer*

METRIGUARD, modelo 239A. A técnica foi aplicada nas árvores em pé em diferentes sentidos assim como nas toras. As velocidades de propagação das ondas de tensão foram determinadas e comparadas entre si pelo teste de médias (Tukey) e não diferiram entre si. As velocidades de propagação obtidas a partir das toras foram, para todas as espécies, superiores às velocidades de propagação determinadas a partir da aplicação da onda nas árvores em pé.

Iwakiri et al. (2013) estudaram a variação do módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) no sentido longitudinal e radial de árvores de *Tectona grandis* e correlacionaram com a densidade aparente da madeira. Coletaram cinco árvores com 18 anos de idade e de cada árvore foram obtidas toras nas posições da base, meio e topo. Os coeficientes de correlação indicaram boas interações entre a massa específica aparente e MOEd para as lamelas retiradas da base e meio das árvores e das regiões próximas à medula.

Lima et al. (2013b) avaliaram o desempenho físico-mecânico de painéis de lâminas paralelas (LVL) produzidos com diferentes composições de espécies tropicais amazônicas e *Pinus oocarpa*. Foi analisada a velocidade de propagação acústica com o *stress wave timer* para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico (MOEd), que foi correlacionado com o módulo de elasticidade estático (MOE) do painel. Para resistência à colagem da madeira não houve diferença significativa entre os painéis. Por fim, os autores concluíram que o *stress wave timer* poderia ser utilizado para predição do MOE a partir do MOEd.

Abreu e colaboradores (2013) estudaram problemas relacionados à durabilidade da madeira em estruturas de edificações históricas, buscando medidas de preservação e conservação a serem adotadas, evitando-se perdas e substituição que descaracterizariam as construções. O método não destrutivo empregado para a detecção de deterioração foi realizado com o *stress wave*, uma forma de inferir na integridade de uma viga e um pilar original da construção. Os resultados revelaram que entre as duas estruturas utilizadas para o cálculo dos módulos de elasticidade dinâmicos, não houve diferença significativa na aplicação do *stress wave timer* nos alinhamentos estudados. Os autores concluíram que a técnica foi promissora para inspeção de estruturas de madeira em uso.

### **3.3 - ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FT-NIR)**

A madeira possui grande variação das suas propriedades, sendo estas desconhecidas pelo setor madeireiro e consumidores, que acabam optando por materiais engenheirados que possuam características mais uniformes. Outros entraves na indústria madeireira estão ligados à dificuldade de identificação de espécies pelos consumidores, ausência de garantias das propriedades tecnológicas e de segurança e durabilidade do material e também a falta de normatização para as peças de madeira nativa comercializadas nas indústrias (D' AMBROS, 2011).

O estudo das propriedades anatômicas, químicas, físicas e mecânicas da madeira é comumente realizado por meio de técnicas destrutivas envolvendo desta forma o preparo de corpos de prova, cansativas rotinas de laboratório, protocolos para análises, normas específicas para análise do material, tempo despendido nas coletas de dados, manuseio de equipamentos sofisticados e utilização de soluções químicas como álcool, tolueno e ácido sulfúrico, prejudiciais à saúde e ao meio ambiente (ANDRADE, 2009).

Uma técnica não destrutiva baseada em espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS, do inglês *Near Infrared Spectroscopy*) tem apresentado resultados promissores para a classificação da madeira e estimativa de suas propriedades tecnológicas, como a densidade, módulo de elasticidade e módulo de ruptura (TSUCHIKAWA, 2007, TSUCHIKAWA e SCHWANNINGER, 2013 e TSUCHIKAWA e KOBORI, 2015).

A espectroscopia no NIR é uma técnica não destrutiva, rápida, acurada, aplicada a um grande número de amostras em processos on-line e pode ser aplicada em qualquer substância que possua moléculas, principalmente ligações C-H, O-H, N-H, S-H e C=O em sua composição química (PASQUINI, 2003).

De acordo com Almeida (2009) a tecnologia NIRS com transformada de Fourier (FT-NIR) tem sido utilizada como alternativa às análises pelos métodos de referência (laboratório), permitindo obter de forma não destrutiva informações sobre as propriedades anatômicas, físicas, químicas e mecânicas de uma amostra de madeira. Como vantagens esta técnica não requer preparação da amostra, a coleta dos dados pode ser realizada diretamente em campo



e o tempo requerido para classificação ou estimativa da propriedade alvo é curto. Porém, a análise exige uma calibração, que é baseada nos métodos convencionais.

A espectroscopia no NIR está sempre associada à estatística multivariada e permite análises qualitativas e quantitativas. A análise qualitativa tem por base a coleta do espectro, a análise exploratória ou classificatória e o agrupamento de indivíduos espectralmente semelhantes. Já para aplicação quantitativa são necessárias regressões multivariadas para a construção dos modelos de predição das características de interesse. O modelo multivariado permite relacionar a assinatura espectral com os valores de referência obtidos por análise convencional de cada propriedade (ALMEIDA, 2009).

Segundo Naes et al. (2002) na análise multivariada dois conjuntos de informações são correlacionados: a matriz de informações espectrais (espectros) e a matriz de informações das propriedades da madeira (referência). Assim a técnica NIRS fornece modelos capazes de prever as propriedades da madeira.

### **3.3.1 - Espectroscopia**

A espectroscopia, de maneira global, é o estudo da interação de radiação eletromagnética com a matéria, esta radiação se distribui em várias regiões de energia que correspondem a diferentes técnicas de espectroscopia. Existe a espectroscopia no visível, infravermelho e ultravioleta, sendo que o olho humano é sensível à apenas uma pequena faixa de frequências, a região da luz visível do espectro eletromagnético. A Figura 3.4 apresenta as três regiões do infravermelho denominadas de NIR -Infravermelho Próximo que vai de 0,8  $\mu\text{m}$  a 2,5  $\mu\text{m}$  (12500 - 4000  $\text{cm}^{-1}$ ), MIR-Infravermelho Médio de 2,5  $\mu\text{m}$  a 50  $\mu\text{m}$  (4000 – 200  $\text{cm}^{-1}$ ) e por fim o FIR-Infravermelho Distante de 50  $\mu\text{m}$  a 1000  $\mu\text{m}$  (200 - 10  $\text{cm}^{-1}$ ) (MENDHAM et al., 2002; MILAGRES, 2009; BARBOSA, 2011).

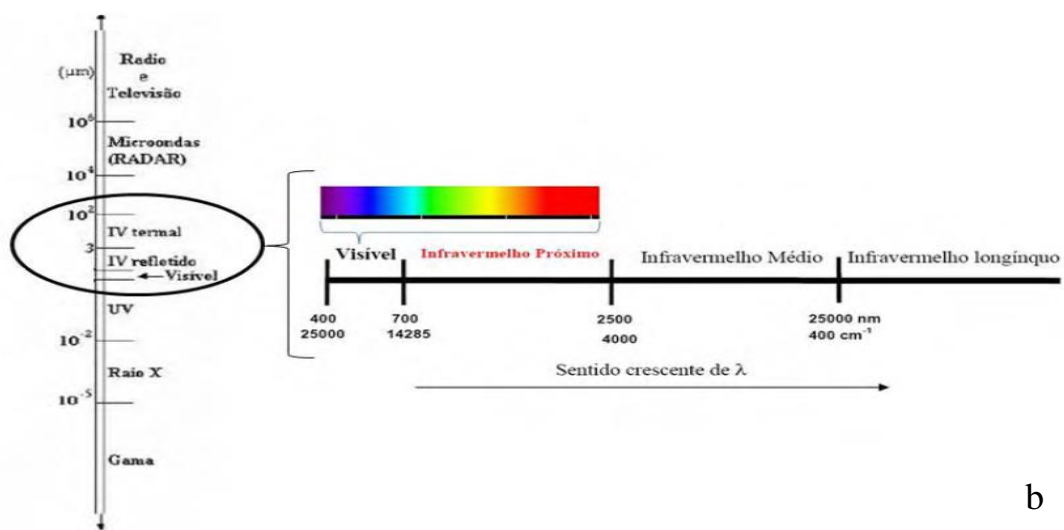
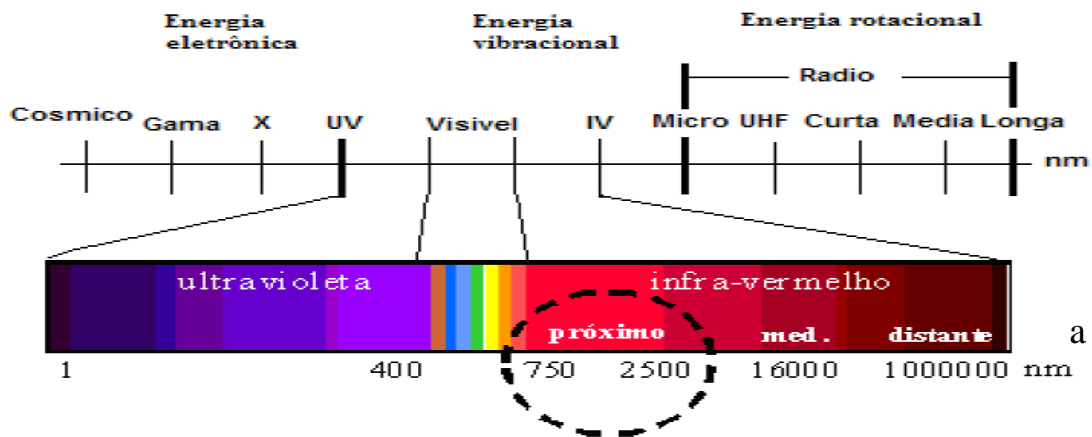


Figura 3.4 - Espectro da radiação eletromagnética; a) e b) região do visível e do infravermelho.

Fonte: Hein et al. (2008); Milagres (2009).

### 3.3.1.1 - Espectroscopia no Infravermelho Próximo (NIRS)

O NIR é a medição da intensidade da absorção/reflexão de luz infravermelha próxima, sendo um tipo de espectroscopia vibracional que utiliza um feixe de fótons na faixa de energia  $2,65 \times 10^{-19}$  a  $7,96 \times 10^{-20}$  J, que corresponde a faixa de 750 a 2500nm, em relação ao comprimento de onda, realizada pela amostra (Figura 3.5) (SKOOG et al., 2002).



Figura 3.5 - Região de detecção dos grupos funcionais em NIRS  
Fonte: Jaconi (2011).

As análises espectroscópicas podem ser efetuadas em amostras líquidas, sólidas e gasosas com modernos equipamentos, sendo em sua maioria interferômetros com transformada de Fourier. A técnica vem sendo amplamente empregada, nas mais distintas áreas do conhecimento de forma vantajosa para a determinação de moléculas orgânicas e parâmetros qualitativos (BURNS e CIURCZAK, 2001).

O espectrofotômetro contém uma fonte luminosa (tungstênio/halogênio) com janelas de quartzo que servem como fontes, um monocromador, um seletor de comprimentos de onda de grupos funcionais orgânicos, especialmente O-H, N-H, e C=O, uma rede de difração, um receptáculo para amostras, um fotodetector (células de quartzo ou sílica fundida e fotocondutores de sulfeto de chumbo) e uma impressora ou computador. O comprimento de onda selecionado pelo monocromador pode ser alterado por rotação da rede de difração (Figura 3.6). O gráfico de reflectância ( $\log 1/R$ ) *versus* comprimento de onda ( $\lambda$ ) é denominado espectro (PASQUINI, 2003; TAIZ e ZEIGER, 2004; NISGOSKI, 2005; WORKMAN e WEYWER, 2007; MILAGRES, 2009). Atualmente encontram-se disponíveis duas classes de instrumentos: os dispersivos e o de transformada de Fourier.

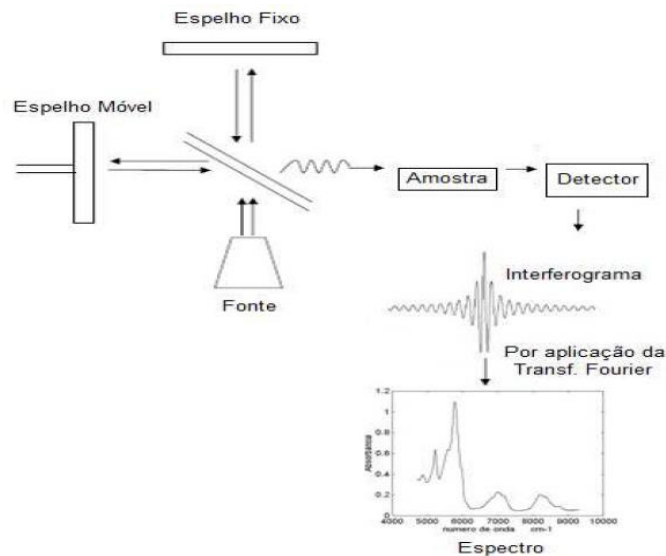


Figura 3.6 – Esquema de um espectrofotômetro FT-NIR com transformada de Fourier  
 Fonte: Costa (2000) adaptado de Almeida (2009).

Cada material apresenta uma resposta peculiar de refletância, absorvância ou transmitância e, por isso, o termo assinatura espectral é frequentemente utilizado (WIBERG, 2004; GIORDANENGO, 2005). A assinatura da informação bioquímica dos grupos funcionais como -CH, -OH e -NH pode ser observada no espectro no NIR (ALBERTCHT et al., 2007) e é exemplificada na Figura 3.7.

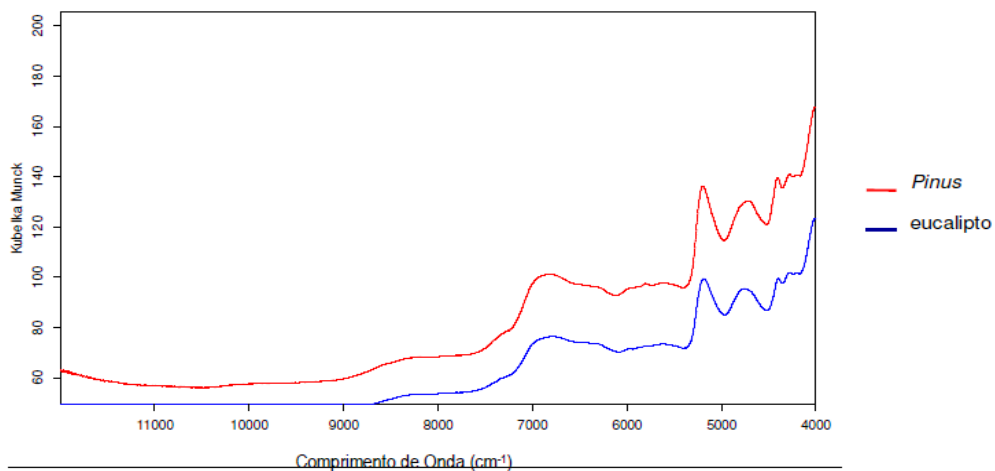


Figura 3.7 – Espectro gerado pelo espectrofotômetro de infravermelho próximo das madeiras de *Eucalyptus* e *Pinus*  
 Fonte: Ribeiro (2009).

O NIR tem como vantagem ser uma análise não destrutiva da madeira, além de ser um ensaio sem preparo da amostra e sem aplicação de produtos químicos, com transferência de calibrações entre equipamentos, design robusto e compacto, análise múltipla de

componentes, elevada velocidade de resultados de análise e aumento de produção e contenção dos custos. Como desvantagens, a calibração requer tempo, cuidado e conhecimentos básicos de computação e estatística univariada e multivariada (BARCELLOS, 2007; CALDEIRA et al., 2008; MILAGRES, 2009).

### 3.3.1.2 - Espectroscopia NIR aplicada à indústria de base florestal

Muitos estudos vêm sendo desenvolvidos na área florestal com a utilização do infravermelho próximo e técnicas de análises multivariadas para a predição de propriedades da madeira (NISGOSKI, 2005; TSUCHIKAWA, 2007; TSUCHIKAWA e SCHWANNINGER, 2013; TSUCHIKAWA e KOBORI, 2015).

O NIR é capaz de prever propriedades químicas da madeira como teor de lignina, polioses, celulose e extrativos (SCHULTZ e BURNS 1990; MEDER et al., 1999; KELLEY et al., 2002; KELLEY et al., 2004a; YEH et al., 2004; CAMPOS, 2008; VIANA et al., 2010; MILAGRES et al., 2013), propriedades físicas como densidade e retratibilidades (SCHIMLECK et al., 1999; HAUSSON et al., 2001; VIA, 2004; RIBEIRO, 2009; VIANA et al., 2009; ROSSO, 2010; SANTOS et al., 2012), propriedades mecânicas da madeira sólida e em painéis reconstituídos (MOE e MOR) (SCHIMLECK et al., 2001, SCHIMLECK et al., 2002a, 2002b; KELLEY et al., 2004b; CARNEIRO, 2008; RIBEIRO, 2009; ANDRADE et al., 2010; HEIN et al. 2010), e propriedades anatômicas de madeiras como comprimento de fibra e ângulo microfibrilar (SCHIMLECK e EVANS, 2002, 2004; SCHIMLECK et al. 2003b, 2005; VIA 2004; MAGALHÃES et al., 2005; HEIN et al., 2009a), além de estudos com polpa celulósica (RAYMOND et al., 2001; NISGOSKI, 2005; SAMISTRARO, 2008; SANTOS et al., 2009; SAMISTRARO e MUÑIZ 2009).

No Brasil, nos últimos anos, houve grande interesse na predição dos caracteres anatômicos, físicos, mecânicos e químicos da madeira e de painéis de madeira reconstituída por meio da espectroscopia NIR, contudo a maioria dos estudos tem enfoque apenas nas espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*.

Nisgoski (2005) utilizou a técnica NIR no estudo de características da madeira e do papel de *Pinus taeda* L. provenientes de plantios comerciais. A densidade básica da madeira, as características morfológicas das fibras e as propriedades físicas e mecânicas do papel foram

determinadas pelos métodos convencionais em laboratório e correlacionadas com os espectros obtidos pelo NIR. As melhores correlações na calibração e predição dos dados foram obtidas para a densidade básica da madeira e comprimento dos traqueoides axiais.

Lopes (2008) avaliou a utilização da espectroscopia no infravermelho próximo como uma ferramenta de análise de painéis de madeira de *Pinus* sp. Os painéis de madeira foram colados lateralmente e foi analisada a resistência da linha de cola. Os corpos de prova foram submetidos a ensaios destrutivos em uma máquina universal de ensaios e o NIR foi usado para avaliar a resistência dos painéis. Foram utilizadas como ferramentas estatísticas as análises de componentes principais (PCA) e a análise de regressão por mínimos quadrados parciais (PLS) desenvolvidas no programa Unscrambler® versão 9.1.

Hein (2008) utilizou a espectroscopia no infravermelho próximo para avaliar as propriedades da madeira de *Eucalyptus urophylla*. As calibrações para prever as características químicas e físicas da madeira foram ajustadas a partir de um lote de 60 amostras. As calibrações para as estimativas das propriedades da madeira dessas árvores apresentaram coeficientes de determinação entre 0,66 e 0,88 em relação ao desempenho do desvio de 1,7 a 2,9. Esses modelos foram utilizados para estimar as propriedades de 280 árvores desconhecidas.

Milagres (2009) estudou as características tecnológicas da madeira de 75 híbridos nacionais de *Eucalyptus globulus*, aos três anos de idade. Foram realizadas análises da constituição química das madeiras e determinadas as densidades. Foram gerados modelos de predição de qualidade da madeira utilizando a tecnologia NIRS (Espectroscopia no Infravermelho Próximo). Os ajustes dos modelos NIRS resultaram em boas predições dos parâmetros analisados.

Ribeiro (2009) utilizou as técnicas não destrutivas de análise de imagens, colorimetria, espectroscopia no infravermelho próximo e ondas ultrassônicas para caracterizar tecnologicamente as madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* Var. *Hondurensis*. Em seu estudo foram preditos por meio do NIR os valores de densidade básica, retratibilidades (radial, tangencial e volumétrica), MOE e MOR. As técnicas utilizadas permitiram concluir que as espécies estudadas podem ser separadas em grupos de coníferas e folhosas, pelas características distintas, e suas propriedades físicas e mecânicas podem ser preditas com a utilização do NIR.

Ferreira (2010) avaliou as propriedades físico-mecânicas de painéis de fibra de média densidade (MDF) por meio de ensaios destrutivos e propôs o uso da técnica de infravermelho próximo (NIR) para prever as propriedades mecânicas dos painéis. Os painéis foram produzidos com fibras de *Pinus taeda* e foram caracterizados por ensaios físicos e mecânicos (densidade aparente, absorção e inchamento de água em espessura, resistência à tração perpendicular, resistência ao arrancamento de parafuso e flexão estática (MOE e MOR), baseados nas normas EN e NBR). Utilizou-se a técnica de NIR correlacionando os valores das propriedades da madeira com os espectros de NIR por meio da regressão dos mínimos quadrados parciais (PLS).

Belini (2012) confeccionou e caracterizou tecnologicamente painéis de fibras de madeira de Eucalipto, *Eucalyptus grandis*, e de partículas do colmo da cana-de-açúcar *Saccharum* sp. A caracterização tecnológica do painel compreendeu a estimativa da granulometria do bagaço da cana-de-açúcar, a mensuração das propriedades físicas (densidade, inchamento, absorção e umidade), mecânicas (MOR, MOE, resistência às trações perpendicular e superficial e arrancamento de parafuso), análises óticas por deflectometria (espectroscopia NIR, teor de formol livre e sílica) e de durabilidade natural (bioensaios de fungos xilófagos e cupins).

Recentemente Tsuchikawa e Kobori (2015) realizaram uma revisão comentando a aplicação da espectroscopia no infravermelho próximo à ciência e tecnologia da madeira, com enfoque na utilização da técnica para inspecionar as propriedades físicas e a composição química, além das propriedades mecânicas e anatômicas da madeira de forma rápida, correta e simples. Concluíram que a utilização da técnica NIR para madeira vem crescendo ano após ano e tem se mostrado uma ferramenta poderosa, significativa e robusta na análise dos dados.

### **3.3.2 - Estatística multivariada**

Norma ASTM (1655-05) – Práticas padrão para análises quantitativas multivariadas por Infravermelho médio e próximo.

### 3.3.2.1 - Pré-tratamento espectral

O pré-tratamento espectral se torna importante devido à complexidade dos espectros e os valores gerados pelo seu pré-processamento provocam melhorias significativas no desenvolvimento do modelo de calibração, pois eliminam, reduzem ou padronizam o impacto de fatores não desejáveis no espectro. São exemplos de pré-tratamento: normalização (divide cada intensidade do espectro pela média); 1ª e 2ª derivada de Savitsky-Golay; suavização (*Smoothing*); correção da linha de base (*Baseline*); correção do espalhamento multiplicativo (*Multiplicative Scatter Correction*); escalonamento e filtragem digital para remoção do ruído; variação de padrão normal ou *Standard Normal Variate Method* (SNV). O escalonamento dos dados tem influência significativa na modelagem, além de relacionar os dados químicos e físicos, facilitando a análise (MARTENS e TORMOD, 1989; SIESLER et al., 2002; PANTOJA, 2006; BRERETON, 2007; ANDRADE, 2009; ALMEIDA, 2009).

Segundo Hein (2008) os espectros da madeira possuem imperfeições e os pré-tratamentos melhoram a qualidade do sinal, detectam amostras anômalas (*outliers*), informações sobrepostas das propriedades de interesse e diminuem parte do ruído. Para Samistraro (2008), em estudos com espectros obtidos da madeira, quase sempre é utilizado pré-tratamento de 1ª e 2ª derivada (calculando a primeira derivada as variações da linha de base são eliminadas, mas também pequenas diferenças espectrais são realçadas e a segunda derivada remove variações na inclinação).

O pré-tratamento tem como objetivo transformar os dados originais, fazendo com que fiquem simetricamente distribuídos e corrigir a forma de relação entre X e Y, para que os modelos se ajustem melhor e tenham maior precisão. São aplicados antes da análise por componentes principais (PCA) ou análises de regressão (PLS, PCR, MLR) (PASQUINI, 2003).

### 3.3.2.2 - Seleção de variáveis latentes

Para Viana (2008) a escolha do número de variáveis latentes é um dos parâmetros mais importantes do modelo, pois permite eliminar os comprimentos de onda que não são relevantes (ruídos, informações irrelevantes ou não lineares). A escolha adequada de



determinadas regiões do espectro permite diminuir erros do modelo de calibração, melhorando sua eficiência, robustez e precisão nas previsões (OLIVEIRA et al., 2004).

### 3.3.2.3 - Análise por componentes principais (PCA)

Ferreira (1999) descreve a análise de componentes principais (PCA) como uma das técnicas multivariadas mais comuns empregadas em NIRS. A PCA tem como objetivo decompor a matriz de dados e concentrar a variabilidade dos dados dentro dos primeiros componentes principais, ou seja, ela reduz a dimensionalidade dos dados a partir de combinações lineares das variáveis originais. Funciona como um método de identificar um padrão nos dados evidenciando semelhanças e diferenças.

A análise de componentes principais (PCA) é utilizada para resolver problemas de matrizes e para descrevê-las matematicamente, é muito utilizada quando o conjunto de amostras possui informação de um grande número de variáveis, como nos dados espectroscópicos. Como exemplo tem-se em uma matriz  $X$  com “ $n$ ” amostras e “ $m$ ” comprimentos de onda a PCA decompõe essa matriz  $X$  no produto de duas matrizes, as novas matrizes podem ser descritas como produto dos vetores ( $h$ ) chamados *scores* ( $th$ ) e a transposta da matriz pesos *loadings* ( $P^T h$ ) de acordo com a Equação 3.1. (BRERETON, 2007; LOPES, 2008; SANTOS, 2011).

$$X_{ixj} = th_{ixj} * P_{ixj}^T h \quad \text{Eq.(3.1)}$$

A Figura 3.8 representa a matriz  $X$  decomposta em produtos de matrizes *scores* e *loadings*.

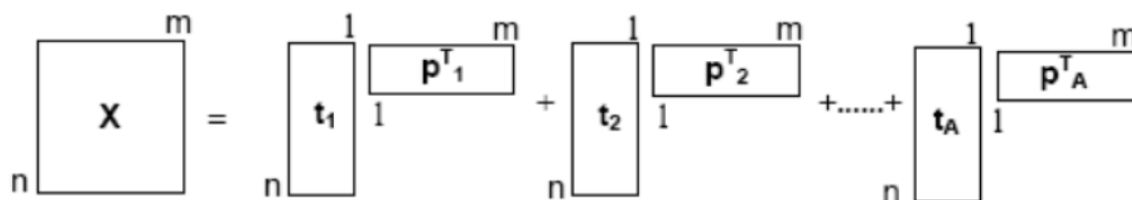


Figura 3.8 – Representação da matriz  $X$  decomposta em produtos de matrizes de posto 1. Fonte: Santos (2011).

Estas novas variáveis formadas são denominadas de fatores, componentes principais (CPs) ou variáveis latentes (VL). O número de variáveis latentes (VL) utilizadas para a calibração poderá influenciar bastante nos resultados da modelagem e uma calibração com poucas VL poderá fornecer um resultado não satisfatório, uma vez que não se utilizará todas as informações espectrais dos dados disponíveis, entretanto, se muitas VL forem utilizadas na calibração do modelo ruídos poderão ser incluídos, resultando em problemas na predição (MARTENS e TORMOD, 1989; BARTHUS, 1999).

A PCA tem como objetivo projetar dados originais de grande dimensão espacial em menores dimensões, permitindo que possam ser extraídas as informações mais relevantes, além de detectar os *outliers* presentes nos dados (amostras que não respondem bem ao modelo de calibração) (BORIN, 2003). As “**p**” variáveis originais ( $X_1, \dots, X_p$ ) são convertidas em “**p**” variáveis ( $Y_1, \dots, Y_p$ ), denominadas componentes principais ou variáveis latentes, sendo a componente principal  $Y_1$ , a que mais explica a variabilidade dos dados, a  $Y_2$  a que responde pela segunda maior parcela e assim sucessivamente, lembrando que, poderá ser incluído na modelagem o ruído se o número de componentes principais for elevado (FERREIRA, 2008).

#### 3.3.2.4 - Método de regressão por mínimos quadrados parciais (PLS)

*Partial Least Squares* (PLS) ou método de regressão por mínimos quadrados parciais foi inicialmente proposto por H. Wold. É uma técnica que analisa dados multivariados e relaciona uma ou mais variáveis resposta (matriz  $Y$ ) com diversas variáveis independentes (matriz  $X$ ), correlacionando-as de modo a obter uma relação linear, baseada na utilização de componentes principais (CP). O PLS é um modelo que determina correlações quantitativas, sendo utilizado na construção da reta de calibração multivariada (ALMEIDA, 2009).

Sendo uma das técnicas mais utilizadas para o tratamento de dados na quimiometria e fundamentada pela PCA (análises de componentes principais), o PLS decompõe simultaneamente as matrizes de espectros ( $X$  independentes) e de dados de referência ( $Y$  resposta) em componentes principais (CP), buscando apresentar as variações dos espectros coletados com base nas variações dos dados de referência obtidos em laboratório (SANTOS, 2003; ARAÚJO, 2007).

Para a utilização deste método é necessária uma grande quantidade de amostras analisadas, pois é preciso estabelecer correlações e reorganizações entre os espectros e as análises de referência obtidas em laboratório.

Para Samistraro (2008) o PLS utiliza toda informação espectral para retirar informações importantes e relacioná-las com a variável de interesse. Esse modelo de regressão relaciona blocos de variáveis  $\mathbf{X}$  e  $\mathbf{Y}$ , fazendo com que as informações espectrais e as propriedades da madeira sejam utilizadas simultaneamente na fase de calibração do modelo (CARNEIRO, 2008).

As matrizes originais  $\mathbf{X}$  e  $\mathbf{Y}$  são decompostas nos seus vetores *scores*  $t$  e  $u$ , nos vetores *loading*  $p$  e  $q$  e nas suas matrizes residuais  $F$  e  $G$ , respectivamente, tal como é apresentado pela Equação 3.2 para os dados espectrais e pela Equação 3.3 para os dados das análises de referência obtidas em laboratório. Tem-se ainda  $R$  que representa o *rank*, isto é, o número de fatores e  $T$  que indica a referência ao vector transposto (CONZEN, 2006; ALMEIDA, 2009).

$$X = t_1 p_1^T + t_2 p_2^T + t_3 p_3^T + \dots + t_R p_R^T + F \quad \text{Eq.(3.2)}$$

$$Y = u_1 q_1^T + u_2 q_2^T + u_3 q_3^T + \dots + u_R q_R^T + G \quad \text{Eq.(3.3)}$$

Para a previsão de apenas uma variável dependente utiliza-se o medelo PLS1 e  $y$  é um vetor.

### 3.3.2.5 – Calibração e validação

Um único espectro registra a intensidade de absorção em mil ou mais comprimentos de onda e devido a sua grandeza e complexidade de informações existe a necessidade de criar ferramentas novas e mais sofisticadas para retirar as informações importantes do conjunto de dados (FERREIRA et al., 1999). O espectro com natureza complexa, o avanço computacional e a evolução dos espectrofotômetros permitem a obtenção de centenas, milhares e até milhões de dados por segundo, porém não seriam possíveis sem a construção e validação dos modelos de calibração adequados (SANTOS et al., 2005).

De acordo com Costa Filho (2003) para um grande número de objetos e variáveis como na calibração multivariada é imprescindível a utilização de uma estrutura matricial em que cada linha represente um objeto e cada coluna uma variável.

Lopes (2008) cita dois passos para a regressão multivariada: calibração e validação. A finalidade da calibração é produzir um modelo que integre os dados espectrais ou espectros com os valores obtidos por um método de referência (densidade, por exemplo), assim para  $n$  amostras,  $k$  componentes e  $p$  número de ondas, duas matrizes são formadas: a matriz  $X$  contendo os dados espectrais [ $X(n, p)$ ] e a matriz  $Y$  contendo os dados de referência [ $Y(n, k)$ ], em seguida encontra-se um modelo matemático que reproduza  $Y$  a partir da matriz  $X$  (MESSERSCHIMDT, 1999; FERREIRA et al., 1999).

Depois do modelo calibrado para uma propriedade da madeira a acurácia deve ser testada por meio da validação, podendo ser realizada por meio da validação externa ou validação cruzada. A validação externa utiliza amostras fora do conjunto de dados da calibração e na validação cruzada as amostras são as mesmas usadas na calibração (KOWALSKI e SEASHOLTZ, 1991).

A utilização da quimiometria envolve o uso de algoritmos e técnicas quimiométricas no pré-tratamento dos espectros capturados, na construção de métodos quantitativos e qualitativos, na escolha de amostras para o conjunto de calibração e validação e ainda na identificação de amostras anômalas (*outliers*) (SIESLER, 1991; ALMEIDA, 2009).

Segundo Oliveira (2006) as técnicas quimiométricas fornecem diferentes formas de resolução para o problema da calibração na análise de dados espectrais. Para a construção e validação dos modelos de calibração dos dados de NIR deve-se utilizar técnicas multivariadas. As principais ferramentas quimiométricas utilizadas para obter informação a respeito da análise espectral do NIR são MLR (Multiple Linear Regression), PCR (Principal Component Regression), PLS (Partial Least Squares), PCA (Principal Component Analysis), CLS (Classic Least Squares), dentre outras, mas sem sombra de dúvidas a mais atualmente utilizada é a PLS.

## 4 - MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Tecnologia da Madeira (LTM) do Departamento de Engenharia Florestal (EFL) da Universidade de Brasília (UnB), em conjunto com o Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira (PPGCTM) da Universidade Federal de Lavras (UFLA) e o Laboratório Produtos Florestais/Serviço Florestal Brasileiro (LPF/SFB), nos Setores de Anatomia da Madeira e de Química, Adesivos e Borracha Natural em Brasília DF.

### 4.1 - MADEIRAS ESTUDADAS

As madeiras pesquisadas e caracterizadas neste estudo, em um total de 20 espécies, foram: **Cambará** (*Qualea brevipedicellata* Stafleu), família Vochysiaceae; **Cupiúba** (*Goupia glabra* Aubl.), família Goupiaceae; **Itaúba** (*Mezilaurus itauba* (Meisn.) Taub. ex Mez), família Lauraceae; **Cedrinho** (*Erisma uncinatum* Warm.), família Vochysiaceae; **Angelim Pedra** (*Hymenolobium petraeum* Ducke), família Fabaceae; **Maçaranduba** (*Manilkara huberi* (Ducke) A. Chev.), família Sapotaceae; **Garapeira** (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr), família Fabaceae; **Cumarú** (*Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd.), família Fabaceae; **Marupá** (*Simarouba amara* Aubl.), família Simaroubaceae; **Cedrorana** (*Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke), família Fabaceae; **Tauari** (*Couratari oblongifolia* Ducke & Kunth), família Lecythidaceae; **Jatobá** (*Hymenaea courbaril* L.), família Fabaceae; **Angelim-vermelho** (*Dinizia excelsa* Ducke), família Fabaceae; **Ipê** (*Handroanthus serratifolius* (A. H. Gentry) S.Grose), família Bignoniaceae; **Abiurana** (*Pouteria egregia* Sandwith), família Sapotaceae; **Muiracatiara** (*Tetragastris altissima* (Aubl.) Swart.), família Burseraceae; **Cambará rosinha** (*Vochysia máxima* Ducke), família Vochysiaceae; **Sucupira** (*Diploptropis purpurea* (Rich.) Amshoff.), família Fabaceae; **Louro faia** (*Euplassa pinnata* (Lam.) I. M. Johnst.), família Proteaceae e **Embira sapo** (*Lonchocarpus cultratus* (Vell.) A. M. G. Azevedo & H. C. Lima), família Fabaceae.

### 4.2 - PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Para cada espécie de madeira foram utilizadas de três a cinco pranchas (2 a 4 metros) doadas pelo IMEQ/MT Instituto de Metrologia e Qualidade do Estado de Mato Grosso, situado no distrito industrial de Cuiabá-MT. O material foi selecionado aleatoriamente em lotes de

madeira apreendidas pela fiscalização do Estado de Mato Grosso via Secretaria de Meio Ambiente (SEMA) e Instituto de Defesa Agropecuária do Estado de Mato Grosso (INDEA). O trabalho de identificação das espécies ficou a cargo dos técnicos do INDEA-MT. Os corpos de prova foram confeccionados na serraria do IMEQ/MT, embalados em sacos plásticos para conservação da umidade e transportados para Brasília/DF.

As dimensões dos corpos de prova de cada ensaio foram estabelecidas de acordo com a norma COPANT (1972a), adotada pelo LPF/SFB e LTM/EFL/UnB.

A partir das pranchas, foram desdobrados 20 corpos de prova do cerne de cada espécie orientados nas seções longitudinal, radial e tangencial medindo 46 cm x 2 cm x 2 cm (comprimento x largura x espessura) totalizando 400 corpos de prova para as vinte espécies. Esses corpos de prova foram subdivididos em amostras de dimensões 2 cm x 2 cm x 30 cm (comprimento x largura x espessura) utilizadas nos ensaios de colorimetria, flexão estática, ultrassom, *stress wave* e NIR e amostras de 2 cm x 2 cm x 10 cm (comprimento x largura x espessura) utilizadas nos ensaios físicos de densidade (básica e aparente) e retratibilidades (tangencial, radial e volumétrica, além do coeficiente de anisotropia). Os corpos de prova de 2 cm x 2 cm x 5 cm (comprimento x largura x espessura) foram utilizados na caracterização macroscópica, microscópica e na mensuração das fibras da madeira (Figura 4.1).

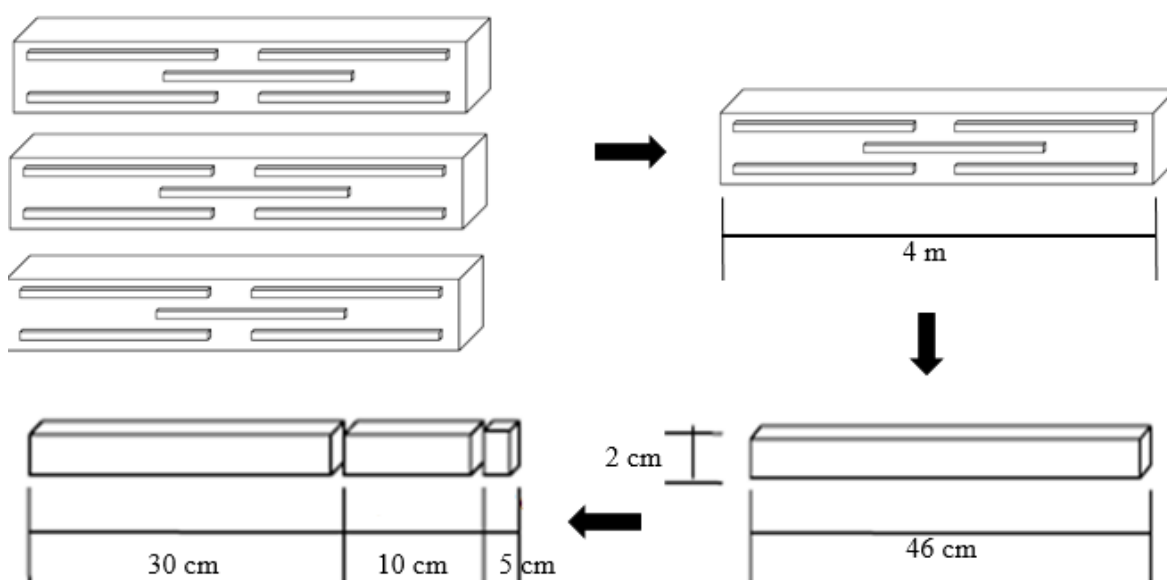


Figura 4.1 – Esquema de confecção dos corpos de prova  
Fonte: adaptado de Ribeiro (2009).

Após a chegada do material ao LPF/SFB em Brasília, foi realizada nova identificação das espécies. Os corpos de prova foram comparados com as amostras padrão da xiloteca (*Index Xylarium FPBw*) do Setor de Anatomia da Madeira do LPF/SFB para confirmar a identificação realizada pelos técnicos do INDEA-MT.

Os corpos de prova foram acondicionados em câmara de climatização da marca Marconi modelo MA835/450UR com temperatura e umidade controlada ( $\pm 65\%$  UR,  $\pm 21^\circ\text{C}$ ) para estabilização do teor de umidade (12% de umidade), de acordo com a norma COPANT (1972b).

### **4.3 - CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DA MADEIRA**

#### **4.3.1 - Análise de imagens**

##### 4.3.1.1 Macroscopia

A descrição macroscópica foi realizada no Setor de Anatomia da Madeira do LPF/SFB. Foram utilizados os corpos de prova de dimensões 2 cm x 2 cm x 5 cm polidos nas sessões transversais com lixas d'água de granulações 40, 180, 320, 600 e 1200, retirando toda aspereza, sendo visíveis seus caracteres a olho nu ou com estereoscópio com aumento de 20x, de acordo com metodologia descrita pelas normas COPANT (1974), Coradin e Muniz (1992) e IAWA (1989).

Os caracteres macroscópicos foram fotografados nas faces radial, tangencial e transversal utilizando microscópio estereoscópio SZX7 Olympus com imagens captadas por câmera digital Olympus modelo DP25 e analisadas pelo *software Application*-programa DP2-BSW® (Olympus), com lente ocular 10x2, aumento de vinte vezes e escala de 1mm, (Figura 4.2).

Foram observados os caracteres gerais cerne/alburno, coloração, anéis de crescimento, brilho, cheiro, resistência ao corte, grã, textura, figura e os caracteres macroscópicos: parênquima axial (vasos/poros), visibilidade, tipos, diâmetro, porosidade, frequência, agrupamento, múltiplos radiais, disposição dos vasos, forma da seção transversal, placas de perfuração, obstrução dos vasos, tilos ou depósitos. Além do parênquima radial (raios)

visibilidade, contraste, largura, altura e frequência, ilustrando assim as diferenças entre as espécies.

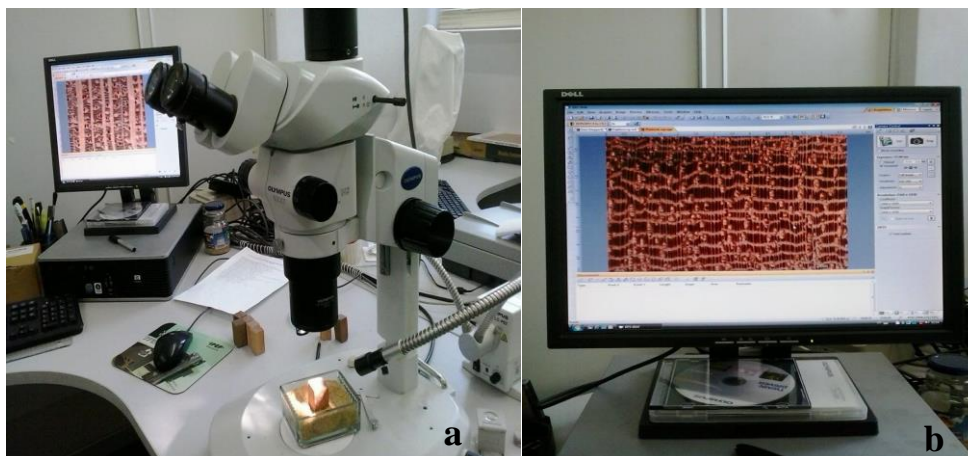


Figura 4.2 - Caracterização macroscópica por análise de imagem; a) microscópio estereoscópio com câmera digital Olympus acoplado ao computador; b) programa de análise de imagem DP2-BSW®.

Fonte: Autor

#### 4.3.1.2 - Microscopia

A confecção das lâminas permanentes para a descrição microscópica foi realizada no LPF/SFB. Os corpos de prova de dimensões 2 cm x 2 cm x 5 cm foram imersos na água para a saturação completa, e em seguida, na água em ebulição para amolecimento prévio por uma hora (BURGER e RICHTER, 1991), foram realizados cortes histológicos nas orientações radial, transversal e tangencial em micrótomo de deslize marca Leica modelo SM 2000R. A espessura dos cortes foi de 18 à 30  $\mu\text{m}$ .

As seções do lenho foram clarificadas com hipoclorito de sódio (50%) e coradas com safranina alcoólica (50%) 1:1 e azul de astra alcoólica (50%) 1:1, tratados em série alcoólica de 20%, 30%, 40%, 60%, 70%, 80% e 100% (Figura 4.3). As seções foram montadas em lâminas de vidro de modo a conter os três planos de corte em cada lâmina com a utilização de resina sintética Entellan®. Depois da secagem das lâminas, o excesso de resina foi removido com bisturi e a limpeza final feita com acetato de butila (JOHANSEN, 1940).





Figura 4.3 - Preparo e confecção das lâminas permanentes para análise microscópica; a) Série alcoólica; b) clarificação dos cortes histológicos com hipoclorito de sódio (50%).  
Fonte: Autor

Os caracteres microscópicos foram fotografados nas faces radial, tangencial e transversal utilizando o microscópio Olympus BH-2 com imagens captadas por câmera digital Olympus DP25 aumento 40x com escala de 100  $\mu\text{m}$  e analisadas em *software Application Programa DP2 – BSW®* (Olympus) de acordo com a metodologia descrita pelas normas COPANT (1974), Coradin e Muniz (1992) e IAWA (1989).

Foram capturadas as imagens dos vasos e dos raios e mensurados com o microscópio Olympus BH-2 e câmera digital Olympus DP25 com aumento de 40x e escala de 200  $\mu\text{m}$  e analisados com o *software Application Programa DP2 – BSW®* (Olympus). Foram mensurados o comprimento do vaso, frequência do vaso, altura do raio e frequência do raio de 30 vasos e 30 raios por lâmina, conforme Coradin e Muniz (1992).

#### 4.3.1.3 – Mensuração das Fibras

A caracterização das fibras foi realizada em material dissociado no setor de anatomia do LPF/SFB.

No processo de maceração das amostras medindo 2 cm x 2 cm x 5 cm, foram cortados segmentos longitudinais do lenho com lâmina de aço e dissociados pelo método de Franklin (JOHANSEN, 1940). Os segmentos do lenho das espécies em estudo foram transferidos para tubos de ensaio com água destilada e, em seguida, com solução macerante (peróxido de

hidrogênio 200 vol. e ácido acético glacial, 1:1) foram levados à estufa (50°C por 48h). A solução foi escoada e lavada com água corrente até minimizar o odor. Para o estudo da morfologia e da avaliação das dimensões, o dissociado foi corado com safranina alcoólica (50%) 1:1, e foram montadas lâminas semi-permanentes com glicerina e água (Figura 4.4). A descrição da estrutura anatômica microscópica das amostras foi conduzida de acordo com as normas da COPANT (1974) e IAWA (1989).

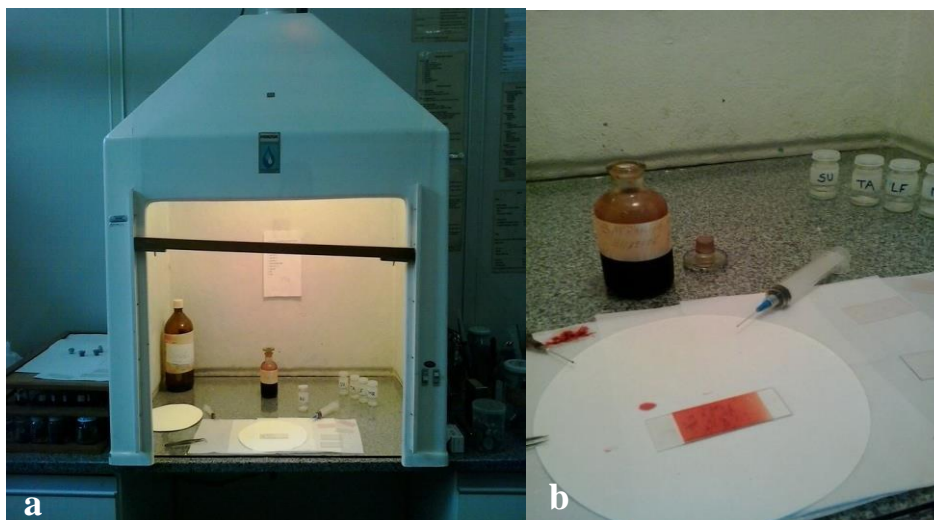


Figura 4.4 – Lâminas semi-permanentes; a) confecção das lâminas semi-permanentes para mensuração das fibras; b) corante utilizado na confecção das lâminas.

Fonte: Autor

A caracterização das fibras foi realizada por análise de imagem, utilizando microscópio Olympus BH-2 com imagens captadas por câmera digital Olympus DP25 (1.3/0,1 e 40 /0,65) com escala de 1mm e 20 $\mu$ m (Figura 4.5) e analisadas em *software Application Programa DP2 – BSW®* (Olympus).

Foram capturadas as imagens das fibras e mensurados o comprimento (CF), a largura total da fibra (LF), diâmetro do lume (DL) e a espessura da parede (EP) de 25 fibras por lâmina, conforme determinam as normas da IAWA (1989). A espessura da parede (EP) da fibra foi obtida por meio da Equação (4.1):

$$EP = \frac{Lf-DL}{2} \quad \text{Eq.(4.1)}$$

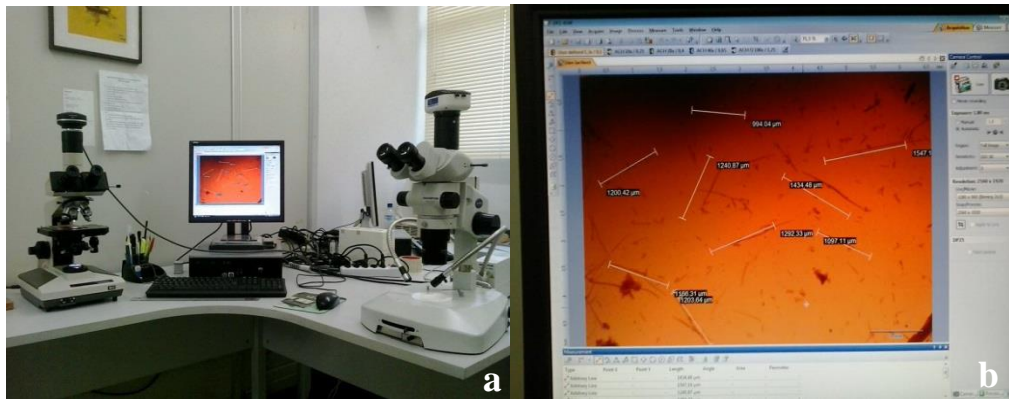


Figura 4.5 - Caracterização das fibras por análise de imagem; a) microscópio com câmera digital Olympus acoplado ao computador; b) programa de análise de imagem DP2-BSW®.  
Fonte: Autor

#### 4.3.2 - Colorimetria

A caracterização colorimétrica da madeira foi feita no LTM/EFL/UnB. Para a realização desse ensaio foi utilizado um espectrofotômetro *ColorEye® XTH* gretagmacbeth (Figura 4.6), vinculado a um microcomputador com o *software* Color iControl, com iluminante *Pulsed Xenon D65* e ângulo de 10°, em temperatura ambiente.



Figura 4.6 - Espectrofotômetro utilizado no ensaio de colorimetria; a) espectrofotômetro *ColorEye® XTH*; b) captura dos espectros e utilização do *software* Color iControl.  
Fonte: Autor

Utilizou-se 10 corpos de prova de cada espécie nas dimensões 2cm x 2cm x 30cm. Foram realizadas 20 leituras em cada face (radial e tangencial) do corpo de prova, totalizando 40 leituras por corpo de prova. Assim, foram realizadas 400 leituras por espécie gerando um total de 8.000 leituras para as 20 espécies analisadas.

A metodologia proposta por Gonzalez (1993) foi utilizada no trabalho, seguindo a definição dos parâmetros colorimétricos: L\* (claridade), coordenadas colorimétricas (a\* e b\*), C (saturação) e h\* (ângulo de tinta) conforme o sistema CIELAB 1976. Para a especificação das cores de cada espécie utilizou-se a tabela de cores descrita por Camargos e Gonzalez (2001). Os parâmetros colorimétricos L\*, a\* e b\* foram obtidos pelo aparelho, de acordo com o Sistema CIELAB e os parâmetros C e h\* foram obtidos utilizando as Equações 4.2 e 4.3:

$$C = \frac{(a^{*2})+(b^{*2})}{2} \quad \text{Eq.(4.2)}$$

Em que:

C = saturação da cor;

a\* = coordenada cromática sobre o eixo verde-vermelho;

b\* = coordenada cromática sobre o eixo azul-amarelo.

$$h^* = \tan^{-1} \left( \frac{b^*}{a^*} \right) \quad \text{Eq.(4.3)}$$

Em que:

h\* = ângulo de tinta;

a\* = coordenada cromática sobre o eixo verde-vermelho;

b\* = coordenada cromática sobre o eixo azul-amarelo.

### **4.3.3 - Propriedades Físicas da madeira**

#### **4.3.3.1 - Densidade Básica**

A metodologia utilizada para a determinação da densidade básica seguiu a norma COPANT (1972c) (Figura 4.7), em que os 20 corpos de prova com dimensões 2 cm x 2 cm x 10 cm

(comprimento x largura x espessura) foram submersos em água por quarenta dias para obtenção volume saturado pelo método estequiométrico utilizando um paquímetro digital com precisão 0,01mm da marca Mitutoyo, em seguida, acondicionados em estufa a uma temperatura de  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  até que atingissem massa constante para obtenção da massa seca (0% umidade) com a utilização da balança digital Marconi AS 2000, com precisão de 0,01g. A densidade básica foi determinada utilizando a Equação (4.4):

$$DB = \frac{M \text{ massa seca}}{V \text{ volume saturado}} \quad \text{Eq.(4.4)}$$

Em que:

DB = Densidade Básica ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

M = Massa seca (g);

Vsaturado = Volume saturado ( $\text{cm}^3$ )



Figura 4.7 – Amostras utilizadas nos ensaios de densidade básica e retratibilidade; a) corpos de prova ensaiados; b) mensuração utilizando balança e paquímetro.

Fonte: Autor

#### 4.3.3.2 - Retratibilidade

A metodologia utilizada para determinação da retratibilidade seguiu a norma COPANT (1972d), (Figura 4.7), em que foram mensuradas as faces longitudinais, radiais e tangenciais dos corpos de prova com um paquímetro digital com precisão 0,01mm da marca Mitutoyo, nas condições de saturados e secos em estufa a uma temperatura de  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  (0% de

umidade). Os mesmos corpos de prova utilizados para determinação da densidade foram utilizados para estimar a reatibilidade.

Foram efetuadas três medições na face radial, três na face tangencial e uma na longitudinal totalizando sete medições na condição saturada e sete na condição seca em estufa por corpo de prova e realizada a média.

As reatibilidades radial, tangencial e volumétrica foram determinadas utilizando as Equações 4.5, 4.6 e 4.7, respectivamente. O coeficiente de anisotropia foi determinado pela Equação 4.8.

$$Rr = \frac{Dr\ saturada - Dr\ seca}{Dr\ saturada} \times 100 \quad \text{Eq.(4.5)}$$

Em que:

Rr = Reatibilidade radial (%);

Dr saturada = dimensão do corpo de prova na direção radial, em condição saturada (mm);

Dr seca = dimensão do corpo de prova na direção radial, em condição seca (mm);

$$Rt = \frac{Dt\ saturada - Dt\ seca}{Dt\ saturada} \times 100 \quad \text{Eq.(4.6)}$$

Em que:

Rt = Reatibilidade tangencial (%);

Dt saturada = dimensão do corpo de prova na direção tangencial, em condição saturada (mm);

Dt seca = dimensão do corpo de prova na direção tangencial, em condição seca (mm);

$$Rv = \frac{Vsaturado - Vseco}{Vsaturado} \times 100 \quad \text{Eq.(4.7)}$$

Em que:

Rv = Reatibilidade volumétrica (%);

Vsaturado = volume do corpo de prova na condição saturada (cm<sup>3</sup>);

Vseco = volume do corpo de prova na condição seca (cm<sup>3</sup>);

$$CA = \frac{Rt}{Rr} \quad \text{Eq.(4.8)}$$

Em que:

CA = Coeficiente de anisotropia;

Rt = Retratibilidade tangencial (%);

Rr = Retratibilidade radial (%);

#### 4.3.4 - Propriedades mecânicas da madeira

##### 4.3.4.1 - Flexão estática – MOE e MOR

O ensaio de flexão estática foi desenvolvido em uma máquina de ensaio universal modelo EMIC DL com capacidade de carga de 300 kN, instalada no Laboratório de Tecnologia da Madeira LTM/FENF/UnB.

Para realização do ensaio foi utilizada a norma COPANT 555 (1972e). A velocidade de aplicação da carga foi de 1mm/minuto, com célula de carga de 2.000 kgf. Os corpos de prova eram de dimensões de 2 cm x 2 cm x 30 cm (largura x espessura x comprimento), sendo 1 cm para cada apoio e 28 cm de vão livre. Para visualização e leitura do ensaio foi utilizado o programa TESC em um microcomputador acoplado a EMIC.

A rigidez da madeira à flexão estática é caracterizada pelo módulo de elasticidade (MOE) e calculada com carga aplicada no centro do vão livre (distância entre os apoios) do corpo de prova, ao teor de umidade (TU) de 12%, submetido ao ensaio.

Para a determinação do módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) foram utilizadas as Equações 4.9 e 4.10, respectivamente, e os valores foram transformados para MPa.

$$MOE = \frac{PL^3}{4bdh^3} \quad \text{Eq.(4.9)}$$

Em que:

MOE = Módulo de elasticidade à flexão estática (kgf/cm<sup>2</sup>);

P = Carga no limite proporcional (kgf);

d = deformação correspondente à carga no limite proporcional (cm);

L = Comprimento do vão livre (cm);

b e h = largura e altura do corpo de prova (cm)

$$MOR = \frac{3P_{m\acute{a}x}L}{2bh^2} \quad \text{Eq.(4.10)}$$

Em que:

MOR = Módulo de ruptura à flexão estática (kgf/cm<sup>2</sup>);

P<sub>máx.</sub> = Carga máxima na ruptura (kgf);

L = Comprimento do vão livre (cm);

b e h = largura do corpo de prova (cm) e altura do corpo de prova (cm).

#### **4.3.5 – Ensaio acústicos/tensão**

##### 4.3.5.1 - Ondas Ultrassônicas

Para os ensaios de ultrassom e de *stress wave* foram utilizados os corpos de prova de 2 cm x 2 cm x 30 cm, que posteriormente foram usados no ensaio de flexão estática.

Para o ultrassom, o ensaio foi realizado com equipamento USLab da empresa Agricef, com transdutores de onda longitudinal e de seção plana que operam na frequência de 45 kHz, potência de 700 V e resolução de 0,1 μs, determinando as propriedades elásticas da madeira de acordo com a Figura 4.8.



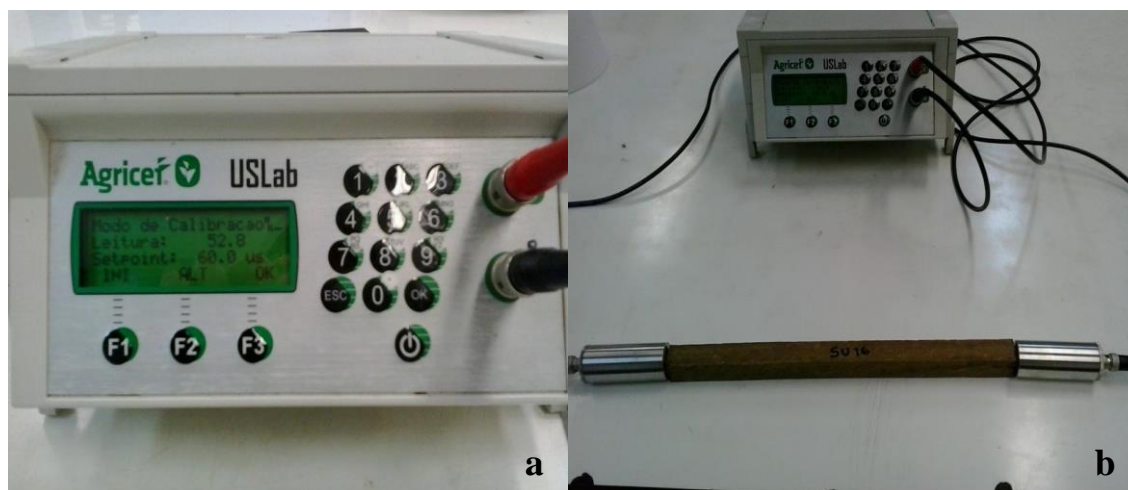


Figura 4.8 – Ensaio com o Ultrassom; a) equipamento ultrassom; b) corpo de prova submetido ao ensaio de ondas ultrassônicas.

Fonte: Autor

O aparelho é equipado com dois transdutores, um para emissão das ondas ultrassônicas e outro para recepção. O equipamento foi calibrado a cada início de série de ensaios para cada espécie utilizando-se um corpo de prova de acrílico com um gel condutor neutro. Posterior à calibração do aparelho, foi utilizado o gel condutor nas faces dos transdutores para a onda não se dissipar e para facilitar a aderência no corpo de prova. Foram tomadas três medições da velocidade de propagação de onda longitudinal e calculada a média.

Para o cálculo do módulo de elasticidade dinâmico por Ultrassom (MOE<sub>du</sub>) foi necessário calcular a densidade do material, de acordo com a Equação 4.11. A densidade a 12% de umidade foi estimada pelo método estequiométrico, efetuando-se medições nas faces radiais, tangenciais e longitudinais dos corpos de prova para obtenção do volume e através da obtenção da massa com balança digital Marconi AS 2000, com precisão de 0,01g.

$$D_{12\%} = \frac{M_{12\%}}{Vol_{12\%}} \quad \text{Eq.(4.11)}$$

Em que:

$D_{12\%}$  = Densidade aparente do corpo de prova a 12% de umidade (g/cm<sup>3</sup>);

$M_{12\%}$  = Massa do corpo de prova a 12% de umidade (g);

$Vol_{12\%}$  = Volume do corpo de prova à 12% de umidade (cm<sup>3</sup>).

Para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico por ultrassom (MOEdu), adotou-se a Equação 4.12.

$$MOEdu = D_{12\%} \times Velu^2 \quad \text{Eq.(4.12)}$$

Em que:

MOEdu = Módulo de elasticidade dinâmico por ultrassom (MPa);

D<sub>12%</sub> = Densidade aparente da madeira a 12% de umidade (kg/m<sup>3</sup>)

Velu = Velocidade da onda ultrassônica (m/s).

Obs: Não foi considerada a aceleração da gravidade.

#### 4.3.5.2 - *Stress Wave*

O equipamento utilizado foi o *Stress Wave Timer 239A* (Metriguard Inc.), que mede o tempo de propagação da onda de tensão longitudinal que percorre a amostra por meio de dois transdutores acelerômetros, um em cada extremidade da peça (Figura 4.9). Foi calculada a massa de cada corpo de prova com uma balança digital Marconi AS 2000 com precisão de 0,01g e também o volume por meio de um paquímetro digital com precisão 0,01mm da marca Mitutoyo, e em seguida, os mesmos receberam marcações de 1,0 cm em cada extremidade e uma marcação central onde foram tomadas as dimensões da amostra (CALDERON, 2012; TELES, 2014; ORELLANA, 2015).

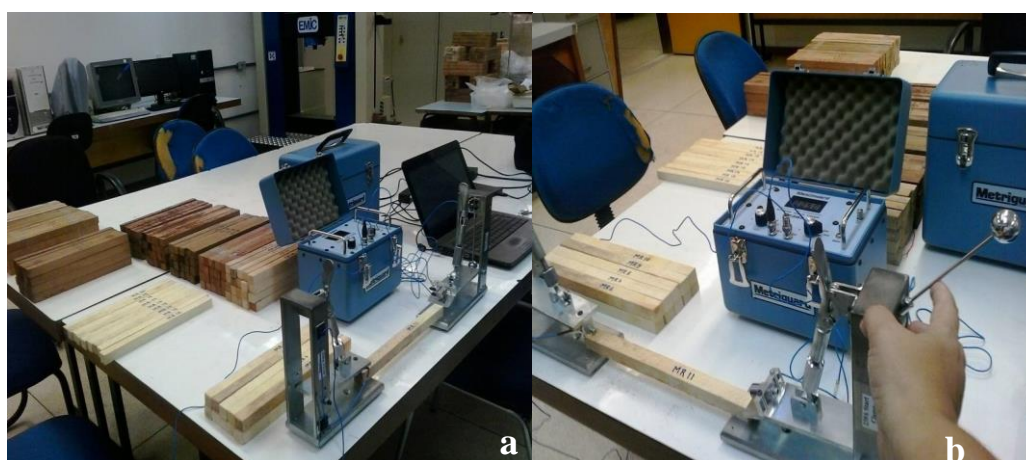


Figura 4.9 - Ensaio de ondas de tensão; a) Equipamento *Stress Wave Timer 239A* (Metriguard Inc.); b) corpos de prova submetidos ao ensaio.

Fonte: Autor.

Os corpos de prova foram fixados em braçadeiras de alavanca e uma onda de tensão foi induzida, percorrendo todo o corpo de prova até atingir o outro acelerômetro por meio de um pêndulo. Foram realizadas em cada corpo de prova três leituras do tempo de propagação da onda. A distância utilizada foi o vão de 28 cm de comprimento, o mesmo indicado pela norma COPANT 555 para o ensaio de flexão estática. O tempo empregado no cálculo foi o tempo médio das três leituras, procedimento adotado por diversos trabalhos (CALDERON, 2012; TELES, 2014; ORELLANA, 2015).

Para determinação da velocidade e do Módulo de elasticidade dinâmico (MOEds) com *Stress Wave* foram utilizadas as Equações 4.13 e 4.14.

$$Vels = \frac{Lo}{t \times 10^{-6}} \quad \text{Eq.(4.13)}$$

Em que:

Vels = Velocidade de propagação de onda de tensão (m/s);

Lo = Distância percorrida pela onda de tensão (m);

t = Tempo de deslocamento da onda de tensão ( $\mu$ s).

$$MOEds = Vels^2 \times D_{12\%} \quad \text{Eq.(4.14)}$$

Em que:

MOEds = Módulo de elasticidade dinâmico do *Stress wave* (MPa)

Vels = Velocidade de propagação de onda de tensão (m/s);

$D_{12\%}$  = Densidade aparente a 12% de umidade ( $\text{kg/m}^3$ );

Obs: Não foi considerada a aceleração da gravidade.

### **4.3.6 – Espectroscopia no infravermelho próximo**

#### 4.3.6.1- Análise de referência

Os ensaios físicos e mecânicos foram realizados no Laboratório de Tecnologia da Madeira (LTM) do departamento de Engenharia Florestal (EFL) da Universidade de Brasília (UnB). Os ensaios anatômicos e de espectroscopia no Infravermelho Próximo (NIR) foram realizados no Laboratório de Produtos Florestais (LPF/SFB), nos Setores de Anatomia da Madeira e Química, Adesivos e Borracha Natural.

Para a técnica de espectroscopia no infravermelho próximo, foram utilizados os resultados dos ensaios anatômicos (fibras), físicos (densidade básica e retratibilidades) e mecânicos (MOE e MOR) como valores de referência, para então, serem realizadas as calibrações e validações dos modelos.

#### 4.3.6.2 - Corpos de prova utilizados no ensaio

A aquisição dos espectros na madeira foi realizada nos corpos de prova com dimensões 2 cm x 2 cm x 30 cm destinados a realização dos ensaios mecânicos (destrutivo e não destrutivo) e colorimétricos e tiveram acabamento em lixa de papel nº 100 para minimizar os defeitos (instrumentos de corte e brilho) e aumentar a reflectância difusa. Foram ensaiados 20 corpos de prova por espécie, para as dezoito espécies em estudo, sendo excluídas neste ensaio as espécies Cedrinho e Cambará rosinha por problemas na calibração do aparelho para a aquisição dos espectros.

Os corpos de prova foram mantidos em câmara de climatização para estabilizar a umidade em torno de 12% antes da coleta do espectro. A aquisição espectral foi realizada em 10 diferentes pontos na face tangencial (TG) do corpo de prova.

#### 4.3.6.3 - Obtenção dos espectros

O equipamento utilizado para a coleta dos espectros foi um espectrofotômetro com transformada de Fourier (FT-NIRS), marca Bruker, modelo Tensor 37, com o apoio do *software* OPUS fornecido pela Bruker Optics (Figura 4.10). Os espectros de absorvância foram obtidos em sala com temperatura fixada em 22°C e desumificador de ar.



Figura 4.10 - Espectrofotômetro no infravermelho próximo com transformada de Fourier marca: Bruker Optics, modelo tensor 37.

Fonte: Autor.

O equipamento utiliza a transformada de Fourier e possui uma esfera de integração. Os espectros foram adquiridos através de uma sonda na gama de  $12000$  a  $4000\text{cm}^{-1}$ , em modo de reflexão difusa com resolução espectral de  $8\text{cm}^{-1}$  e 32 varreduras por leitura. Cada espectro representa uma média das 32 varreduras na amostra, sendo que, para cada amostra foram tomados 10 espectros na face tangencial. Foram 320 varreduras por corpo de prova totalizando 6.400 por espécie.

#### 4.3.7 - Análise estatística

Para a colorimetria foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado, com dois tratamentos (radial e tangencial) e com 10 repetições (corpo de prova). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste de tukey, ao nível de 95% de probabilidade utilizando o programa ASSISTAT Versão 7.7 beta. Foi verificada a normalidade dos dados pelo teste Shapiro-Wilk (SILVA e AZEVEDO, 2002).

Para fibras, vasos e raios utilizou-se a estatística descritiva: média, máximo, mínimo, desvio padrão e coeficiente de variação. O programa estatístico Genes da UFV foi utilizado na análise dos dados (CRUZ, 2006).

Para as propriedades físicas e mecânicas utilizou-se a estatística descritiva: média, máximo, mínimo, desvio padrão e coeficiente de variação. As correlações foram determinadas pelo método de correlação de Pearson a 1% e 5 % de significância pelo teste t. O programa estatístico Genes da UFV foi utilizado na análise dos dados (CRUZ, 2006).

Para a espectroscopia no infravermelho próximo foi utilizada como ferramenta para as calibrações e validações dos modelos de regressão (PLS-1) o programa de estatística multivariada The Unscambler® (CAMO AS, Norway), versão 9.7.

Parâmetros de calibração, validação e seleção de modelos: Os modelos foram ajustados para verificar a relação dos valores de comprimento de fibras, densidade básica, retratibilidades (radial, tangencial e volumétrica), módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) com os espectros obtidos no infravermelho próximo. As calibrações foram ajustadas pelo método PLS-1 com um máximo de 10 variáveis latentes, sendo que o número utilizado foi aquele que reduziu os resíduos de *student* (ANDRADE, 2009; ROSSO, 2010).

Para a validação do modelo foi adotado o método da validação cruzada, a amostragem foi dividida em 6 lotes, sendo que em cada lote foram selecionadas ao acaso 60 amostras. Para determinar os parâmetros de calibração e validação foram realizadas análises preliminares. Para eliminar ruído e melhorar a qualidade do sinal foi aplicado pré-tratamento de normalização da média, SNV (*Standard Normal Variate Method*) e primeira derivada nos espectros, conforme procedimento descrito na literatura (HEIN, 2008; HEIN et al., 2009a; RIBEIRO, 2009; ROSSO, 2010).

Para detectar amostras anômalas (*outliers*) foi utilizado como parâmetro o gráfico de resíduos *student* e valor de *leverage* e estas não foram incluídas na calibração do modelo (ANDRADE, 2009; HEIN et al., 2009a).

Ranqueamento dos modelos NIR: Para a escolha dos modelos é necessário realizar a calibração e a validação dos modelos, para calibração foram utilizadas 4 rotinas: rotina 1: calibração com todas as amostras e variáveis espectrais; rotina 2: calibração sem amostras anômalas (*outliers*) e com todas as variáveis espectrais; rotina 3: calibração sem amostras anômalas (*outliers*) e com seleção de variáveis espectrais pelo teste de incerteza de Martens (WESTAD e MARTENS, 2000); rotina 4: (1, 2, 3) SNV (*Standard Normal Variate Method*) e 1ª derivada (SAVITZKY e GOLAY, 1964) da informação espectral. Para a validação da equação de calibração foram adotados os métodos de validação cruzada para todas as rotinas.

A escolha dos modelos seguiu os seguintes critérios: Maior coeficiente de determinação do modelo na validação cruzada ( $R^2_{cv}$ ); Maior relação de desempenho do desvio (RPD); Menor

número de variáveis latentes usadas na calibração; Erro padrão da validação cruzada (SECV) (HEIN, 2008; ROSSO, 2010).

## 5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Gonçalez et al. (2006) discorre que a qualidade da madeira serrada em espécies florestais faz referência à sua capacidade em atender os requisitos básicos para a fabricação de um determinado produto, ou ainda, à combinação das características tecnológicas (anatômicas, físicas, mecânicas e químicas) de uma espécie que permite a melhor utilização da madeira. O conhecimento tecnológico sobre madeiras que têm potencial para utilização na indústria contribui para introduzir essas espécies no mercado. Além disso, a caracterização tecnológica de uma determinada espécie também é fundamental na sua identificação, não deixando dúvidas quando existem espécies parecidas sendo comercializadas com nomes diferentes. Neste sentido, a caracterização das vinte espécies estudadas trará uma contribuição de grande importância para o mercado madeireiro, uma vez que é frequente a falta de informações de suas propriedades, além de confusões praticadas pelo mercado e instituições na troca do nome comum das espécies.

### 5.1 - DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA E MICROSCÓPICA DA MADEIRA

A seguir, encontram-se as descrições dos caracteres gerais, macroscópicos, microscópicos e fibras, bem como apresentação da fotomicrografia e fotomicrografia da seção radial, tangencial e transversal, além das dimensões de fibras das espécies tropicais comercializadas pelo estado de Mato Grosso.

#### CAMBARÁ - (*Qualea brevipedicellata*)

Nome vulgar: Cambará, cambará do brejo, guaiçara, mandioqueira, mandioqueira escamosa, mandioqueira lisa, maria preta, lacreiro. Nome científico: *Qualea brevipedicellata* Stafleu; Família: Vochysiaceae (REFLORA, 2017).

#### Descrição geral

Madeira indistinta entre o cerne e alburno, coloração marrom oliva, cheiro e gosto imperceptível, brilho moderado nas superfícies longitudinais. Madeira dura ao corte manual no plano transversal, grã direita, textura grossa, figura presente, camadas de crescimento pouco distintas.



### Descrição macroscópica

No plano transversal (Figura 5.1), os vasos são visíveis a olho nu, com diâmetro tangencial grande ( $> 200 \mu\text{m}$ ), porosidade difusa, muito pouco abundantes ( $< 5 \text{ mm}^2$ ), arranjo com cadeias diagonais, predominantemente solitários, de formato circular a oval. **Parênquima axial:** visível a olho nu, do tipo paratraqueal aliforme losangular de extensão larga ou confluyente em trechos curtos. **Parênquima radial:** visível a olho nu na superfície transversal e sob lente na superfície radial. Contrastados na superfície radial. Finos ( $100 \mu\text{m}$ ), baixos ( $< 1 \text{ mm}$ ), pouco frequentes (4-12/mm linear). No plano radial o espelhado dos raios é presente. No plano tangencial, o parênquima radial é visível sob lente de 20x, estruturas secretoras observadas. Linhas vasculares retas.

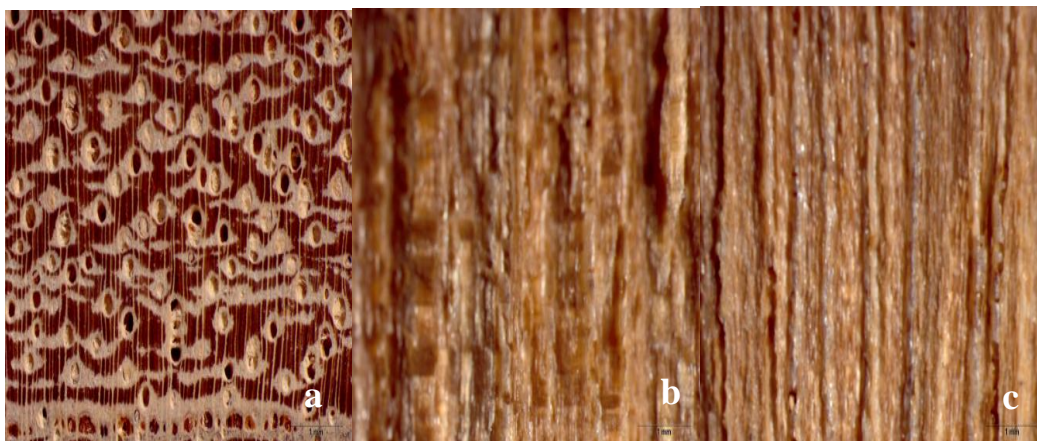


Figura 5.1 - Fotomacrografia da madeira de *Qualea brevipedicellata* – a) plano transversal, b) radial, c) tangencial, aumento de 20x e escala de 1mm.

Fonte: Autor

### Descrição microscópica

Figura 5.2 e 5.3: fotomicrografia dos vasos, raios e fibras

**Vasos:** solitários e múltiplos com até 4, com distribuição difusa, muito pouco abundante  $4,6 \text{ mm}^2$ , grandes  $220,93 \mu\text{m}$  de diâmetro, parcialmente obstruídos com substância esbranquiçada, placa de perfuração simples. **Raios:** heterocelulares formadas de 1 a 2 células quadradas e eretas, unisseriados, bisseriados ou trisseriados, pouco frequentes  $5,83 \text{ mm}$  linear, baixos  $0,41 \text{ mm}$  de altura (Apêndice 1 Tabela 1). **Fibras:** librifformes e septadas de extensão curta  $1,45 \text{ mm}$  e  $24,49 \mu\text{m}$  de largura, de parede espessa  $8,66 \mu\text{m}$  e lume delgado  $7,17 \mu\text{m}$  (Apêndice 1 Tabela 2).

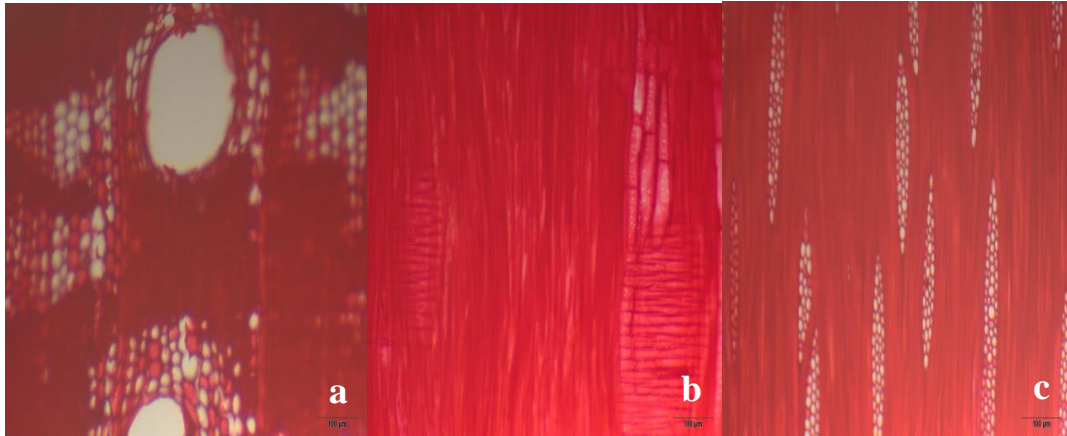


Figura 5.2 - Fotomicrografia nas seções a) transversal, b) radial e c) tangencial de *Q. brevipedicellata* escala 100µm.

Fonte: Autor

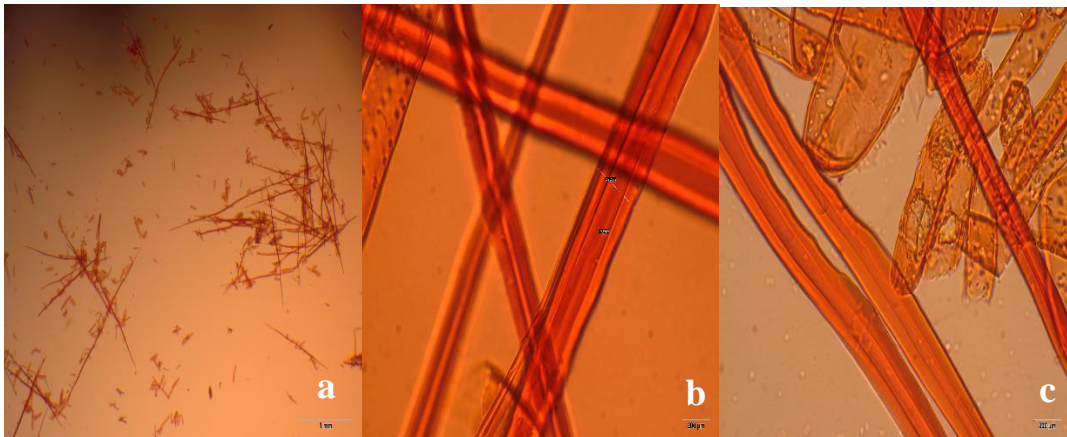


Figura 5.3 - Fotomicrografia das fibras de *Q. brevipedicellata* consideradas na mensuração do a) comprimento (escala 1mm), b) largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular (escala 20µm) e c) descrição microscópica.

Fonte: Autor

### CUPIÚBA - (*Goupia glabra*)

Nome vulgar: Cupiúba, cupiúva, copiúba, peroba, pau bosta, peroba bosta, peroba fedida, peroba do norte, peroba de Sinop, piúva, vinagreiro. Nome científico: *Goupia glabra* Aubl;  
 Família: Goupiaceae (REFLORA, 2017).

#### Descrição geral

A madeira apresenta cerne e alburno pouco distintos, coloração oliva amarelado. Limites dos anéis de crescimento pouco distintos, sem brilho na superfície, cheiro perceptível e não agradável, gosto imperceptível, madeira dura ao corte manual no plano transversal, grã revessa ou entrecruzada, textura de média e figura ausente.

### Descrição macroscópica

No plano transversal (Figura 5.4), os vasos estão presentes sendo visíveis com uma lente de 20x de aumento na superfície, diâmetro tangencial médio (100-200  $\mu\text{m}$ ), com porosidade difusa, pouco abundantes (5-20/mm<sup>2</sup>), predominantemente solitários, de formato circular a oval e disposto em padrão não definido. **Parênquima axial:** visível com uma lente de 20x de aumento na superfície, do tipo apotraqueal difuso. **Parênquima radial:** visível com uma lente de 20x de aumento na superfície. Pouco contrastado, finos (100  $\mu\text{m}$ ), baixos (< 1 mm) e pouco frequentes (4-12/mm linear). No plano tangencial, os raios não são visíveis, somente sob lente de 20x de aumento na superfície. As estruturas secretoras foram observadas.

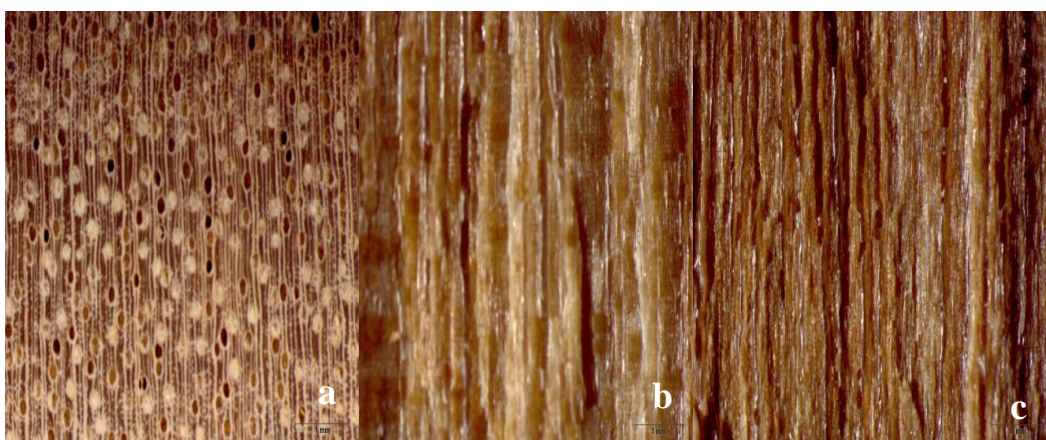


Figura 5.4 - Fotomacrografia da madeira de *Goupia glabra* – a) plano transversal, b) radial e c) tangencial e com aumento de 20x e escala de 1mm.

Fonte: Autor

### Descrição Microscópica

Figura 5.5 e 5.6: fotomicrografia dos vasos, raios e fibras

**Vasos:** solitários, pouco abundante 7,67 mm<sup>2</sup>, médios 142,64  $\mu\text{m}$  de diâmetro, maioria desobstruídos, placa de perfuração escalariforme. **Raios:** heterocelulares, formados por células quadradas e eretas, unisseriados e multisseriados, pouco frequentes 8,53 mm linear, baixos 0,35 mm de altura (Apêndice 1 Tabela 1). **Fibras:** libriformes de extensão longa 2,16 mm e 28,23  $\mu\text{m}$  de largura, de parede espessa 11,98  $\mu\text{m}$  e lume quase imperceptível 4,28  $\mu\text{m}$  (Apêndice 1 Tabela 2).

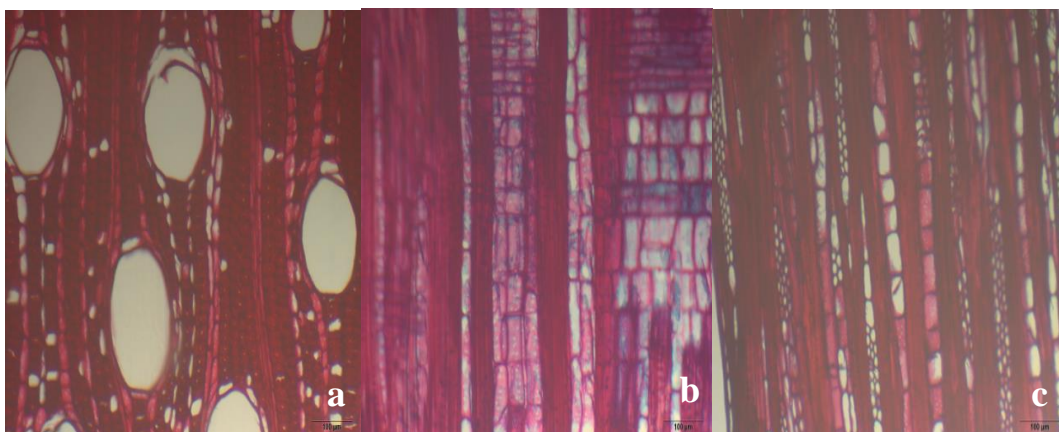


Figura 5.5 - Fotomicrografia nas seções a) transversal, b) radial e c) tangencial de *G. glabra* escala 100µm.

Fonte: Autor



Figura 5.6 - Fotomicrografia das fibras de *G. glabra* consideradas na mensuração do a) comprimento (escala 1mm), b) largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular (escala 20µm) e c) descrição microscópica.

Fonte: Autor

### ITAÚBA – (*Mezilaurus itauba*)

Nome vulgar: Itaúba, itaúba abacate, itaúba amarela, itaúba preta, itaúba vermelha, louro itaúba. Nome científico: *Mezilaurus itauba* (Meisn.) Taub. ex Mez; Família: Lauraceae (REFLORA, 2017).

#### Descrição geral

A madeira possui diferença distinta entre cerne e albúrnio, coloração oliva amarelado, verde oliva em consequência da fotooxidação. Limites dos anéis de crescimento distintos, individualizados por zonas fibrosas tangencias mais escuras, sem brilho na superfície, cheiro

perceptível agradável e gosto imperceptível, madeira dura ao corte manual no plano transversal, grã direita ou reversa, textura média e figura ausente.

#### Descrição macroscópica

No plano transversal (Figura 5.7), os vasos estão presentes e são visíveis a olho nu, diâmetro tangencial médio (100-200  $\mu\text{m}$ ), com porosidade difusa, pouco abundantes (5-20/ $\text{mm}^2$ ), agrupamento dos poros predominante múltiplos, de formato circular a oval e disposto em cadeias radiais. **Parênquima axial:** pouco distinto com lente de 20x de aumento, paratraqueal vasicêntrico escasso. **O parênquima radial:** é visível com uma lente de 20x de aumento na superfície. Pouco contrastados, finos (100  $\mu\text{m}$ ), baixos (< 1 mm) e pouco frequentes (4-12/mm linear). No plano tangencial, os raios são visíveis somente sob lente de 20x de aumento na superfície.

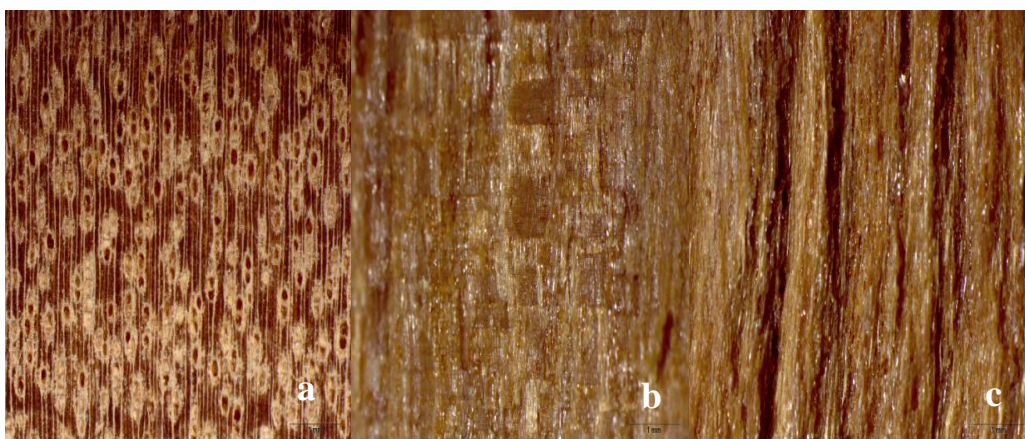


Figura 5.7 - Fotomacrografia da madeira de *Mezilaurus itauba* – a) plano transversal, b) radial e c) tangencial e com aumento de 20x e escala de 1mm.

Fonte: Autor

#### Descrição Microscópica

Figura 5.8 e 5.9: fotomicrografia dos vasos, raios e fibras

**Vasos:** predominantemente múltiplos, pouco abundantes 15,40  $\text{mm}^2$ , médios 123,21  $\mu\text{m}$  de diâmetro, obstruídos por tilos, com placa de perfuração simples. **Raios:** heterocelulares, formados por células quadradas e eretas, multisseriados, pouco frequentes 7,23 mm linear, baixos 0,35 mm de altura (Apêndice 1 Tabela 1). Células oleíferas presentes. **Fibras:** libriformes e septadas de extensão curta 1,42 mm e 29,56  $\mu\text{m}$  de largura, de parede espessa 8,95  $\mu\text{m}$  e lume delgado 11,66  $\mu\text{m}$  (Apêndice 1 Tabela 2).

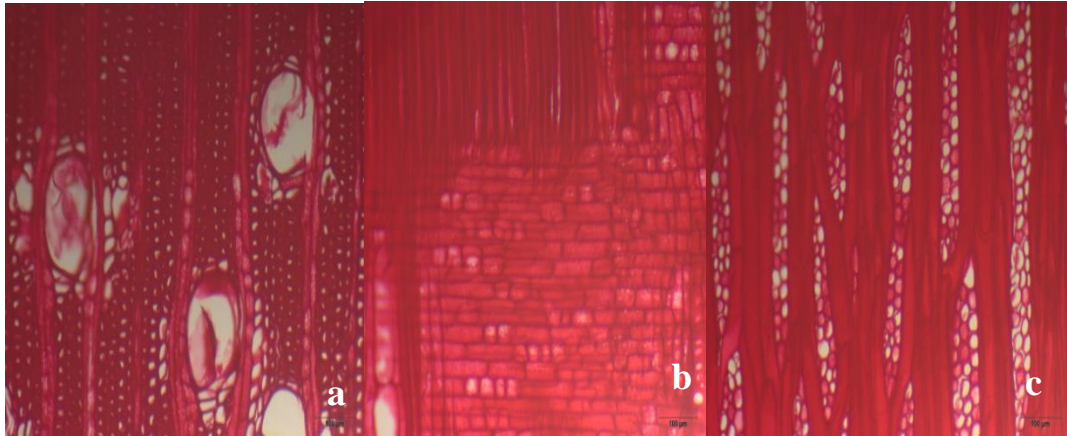


Figura 5.8 - Fotomicrografia nas seções a) transversal, b) radial e c) tangencial de *M. itauba* escala 100µm.

Fonte: Autor

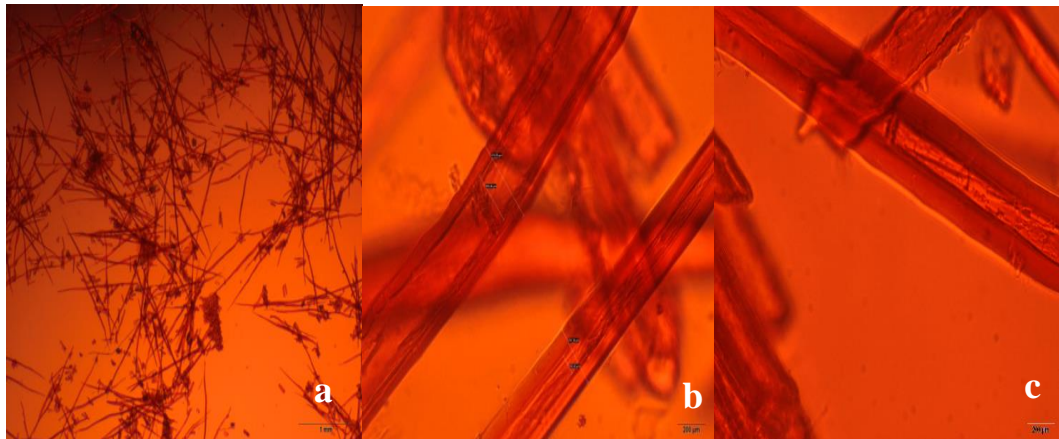


Figura 5.9 - Fotomicrografia das fibras de *M. itauba* consideradas na mensuração do a) comprimento (escala 1mm), b) largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular (escala 20µm) e c) descrição microscópica.

Fonte: Autor

CEDRINHO – (*Erisma uncinatum*)

Nome vulgar: Cedrinho, cedrilho, cambará, jaboti, libra, pau tabuinha, quaruba, quaruba vermelha, quarubarana, tabuinheiro. Nome científico: *Erisma uncinatum* Warm; Família: Vochysiaceae (REFLORA, 2017).

Descrição geral

A madeira possui diferença distinta entre cerne e alburno, coloração rosa acinzentado. Limites dos anéis de crescimento pouco distintos, sem brilho na superfície, cheiro e gosto imperceptível, madeira macia ao corte manual no plano transversal, grã direita, textura de média a grossa e figura presente.

### Descrição macroscópica

No plano transversal (Figura 5.10), os vasos estão presentes e são visíveis a olho nu, diâmetro tangencial grande ( $< 200 \mu\text{m}$ ), com porosidade difusa, muito pouco abundantes ( $< 5 \text{ mm}^2$ ), predominantemente solitários, de formato circular a oval e disposto em padrão não definido.

**Parênquima axial:** visível a olho nu, em faixas largas e com floema incluso. **Parênquima radial:** visível com uma lente de 20x de aumento na superfície. Não contrastado, finos ( $100 \mu\text{m}$ ), baixos ( $< 1 \text{ mm}$ ) e pouco frequentes (4-12/mm linear). No plano tangencial, os raios são visíveis somente sob lente de 20x de aumento na superfície.



Figura 5.10 - Fotomacrografia da madeira de *Erisma uncinatum* – a) plano transversal, b) radial e c) tangencial e com aumento de 20x e escala de 1mm.

Fonte: Autor

### Descrição microscópica

Figura 5.11 e 5.12: fotomicrografia dos vasos, raios e fibras

**Vasos:** solitários e múltiplos de 2 a 3, muito pouco abundante  $3,37 \text{ mm}^2$ , grandes  $283,46 \mu\text{m}$  de diâmetro, obstruídos por tilos e com placa de perfuração simples. **Raios:** heterocelulares, formados por células quadradas e eretas, unisseriados, bisseriados e trisseriados, pouco frequentes  $5,23 \text{ mm}$  linear, baixos  $0,39 \text{ mm}$  de altura (Apêndice 1 Tabela 1). Floema incluso presente e tilos presentes. **Fibras** libriformes de extensão curta  $1,29 \text{ mm}$  e  $24,52 \mu\text{m}$  de largura, de parede espessa  $8,54 \mu\text{m}$  e lume delgado  $7,45 \mu\text{m}$  (Apêndice 1 Tabela 2).

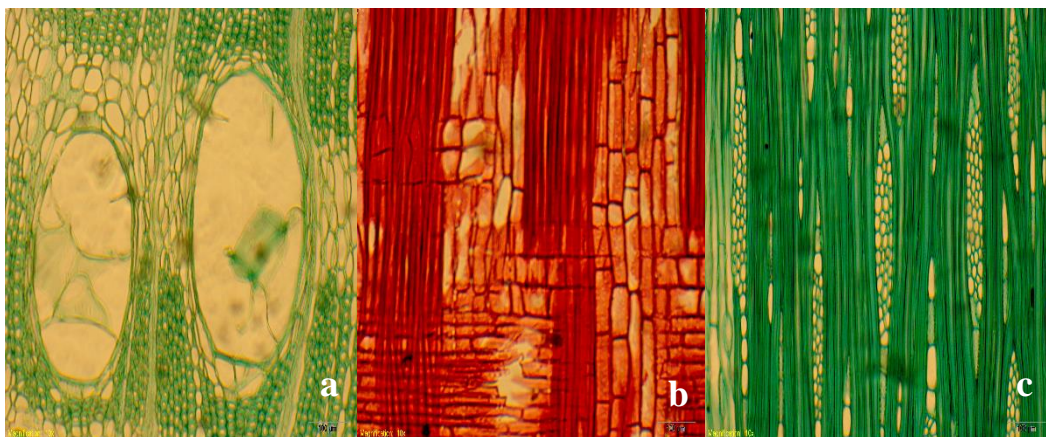


Figura 5.11 - Fotomicrografia nas seções a) transversal, b) radial e c) tangencial de *E. uncinatum* escala 100µm.

Fonte: Autor

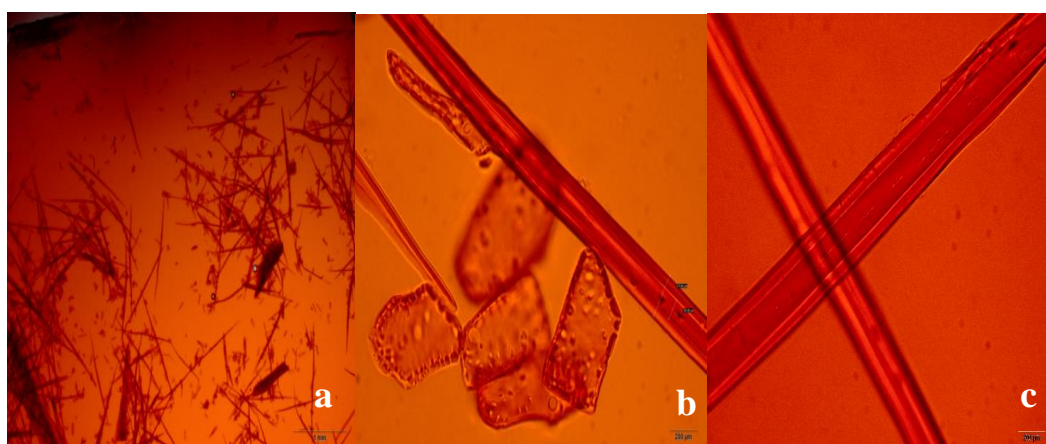


Figura 5.12 - Fotomicrografia das fibras de *E. uncinatum* consideradas na mensuração do a) comprimento (escala 1mm), b) largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular, presença de elementos de vasos (escala 20µm) c) descrição microscópica.

Fonte: Autor

### ANGELIM PEDRA – (*Hymenolobium petraeum*)

Nome vulgar: Angelim pedra, angelim, angelim amarelo, angelim da mata, angelim comum, angelim do Pará, angelim aroeira, angelim vermelho, angelim de côco. Nome científico: *Hymenolobium petraeum* Ducke; Família: Fabaceae (REFLORA, 2017).

#### Descrição geral

A madeira possui diferença distinta entre cerne e albúrnio, coloração rosa, sem brilho na superfície, cheiro e gosto imperceptível, moderadamente dura ao corte manual no plano transversal, grã entrecruzada ou revesa e textura grossa. Apresenta desenho através do parênquima axial em faixas longitudinais.



### Descrição macroscópica

No plano transversal (Figura 5.13), os vasos estão presentes e são visíveis a olho nu, diâmetro tangencial grandes ( $> 200 \mu\text{m}$ ), com porosidade difusa, pouco abundantes ( $5\text{-}20 \text{ mm}^2$ ), arranjo radial, solitários e múltiplos, de formato circular a oval e disposto em padrão não definido. **Parênquima axial:** visível a olho nu, do tipo paratraqueal ou em faixas, paratraqueal dos tipos aliforme losangular, e paratraqueal confluyente formando faixas em trechos curtos ou longos. **Parênquima radial:** visível com uma lente de 20x de aumento na superfície. Pouco contrastados, finos ( $100 \mu\text{m}$ ), baixos ( $< 1 \text{ mm}$ ) e pouco frequentes ( $4\text{-}12/\text{mm}$  linear). No plano tangencial, os raios são visíveis somente sob lente de 20x com estratificação regular.

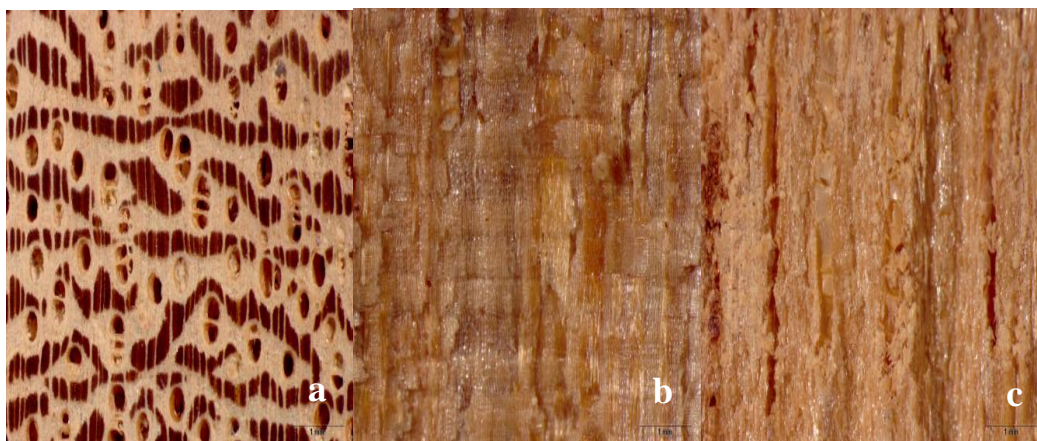


Figura 5.13 - Fotomacrografia da madeira de *Hymenolobium petraeum* – a) plano transversal, b) radial e c) tangencial e com aumento de 20x e escala de 1mm.

Fonte: Autor

### Descrição microscópica

Figura 5.14 e 5.15: fotomicrografia dos vasos, raios e fibras

**Vasos:** solitários e múltiplos de 2 a 6, pouco abundantes  $6,53 \text{ mm}^2$ , grandes  $266,21 \mu\text{m}$  de diâmetro, parcialmente obstruídos por substância oleosa, placa de perfuração simples. **Raios** heterocelulares, formados por células quadradas e eretas, bisseriados e trisseriados, pouco frequentes  $8,83 \text{ mm}$  linear, baixos  $0,38 \text{ mm}$  de altura (Apêndice 1 Tabela 1). Estratificação presente. **Fibras** libriformes de extensão longa  $1,74 \text{ mm}$  e  $23,84 \mu\text{m}$  de largura, de parede espessa  $9,66 \mu\text{m}$  e lume delgado  $4,53 \mu\text{m}$  (Apêndice 1 Tabela 2).

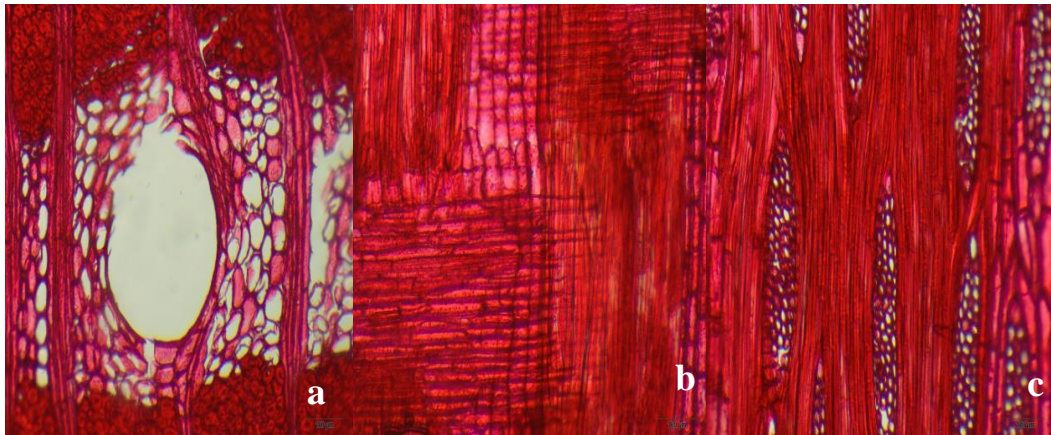


Figura 5.14 - Fotomicrografia nas seções a) transversal, b) radial e c) tangencial de *H. petraeum* escala 100 $\mu$ m.

Fonte: Autor

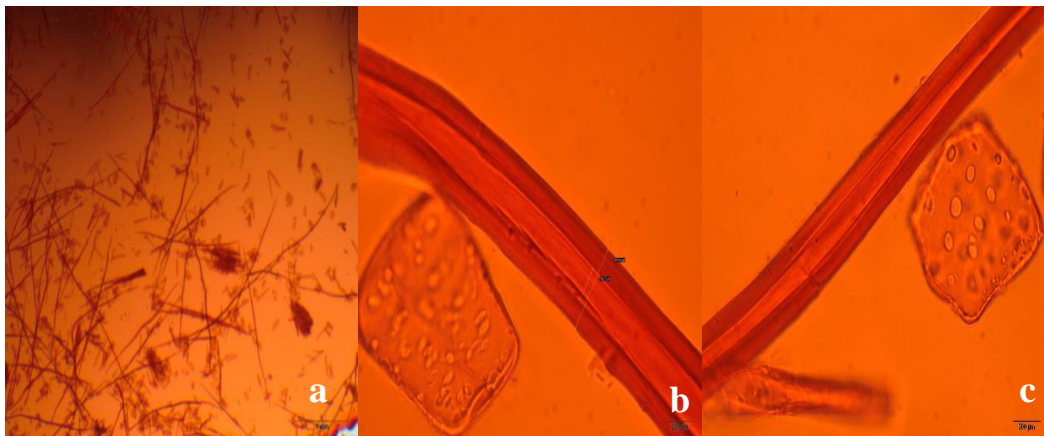


Figura 5.15 - Fotomicrografia das fibras de *H. petraeum* consideradas na mensuração do a) comprimento (escala 1mm), b) largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular (escala 20 $\mu$ m) e c) descrição microscópica.

Fonte: Autor

### MAÇARANDUBA – (*Manilkara huberi*)

Nome vulgar: Balata, maçaranduba, maçaranduba da terra firme, maçaranduba amarela, maçaranduba de leite, maçaranduba verdadeira, maçaranduba vermelha, maparajuba, parajú, parajuba. Nome científico: *Manilkara huberi* (Ducke) A. Chev; Família: Sapotaceae (REFLORA, 2017).

#### Descrição geral

A madeira possui diferença pouco distinta entre cerne e alborno, coloração marrom avermelhado. Limites dos anéis de crescimento distintos, com brilho nas superfícies

longitudinais, cheiro e gosto imperceptível, madeira dura ao corte manual no plano transversal, grã direita, textura média e figura ausente.

#### Descrição macroscópica

No plano transversal (Figura 5.16), os vasos estão presentes e são visíveis através da lente 20x de aumento, diâmetro tangencial médio (100-200  $\mu\text{m}$ ), com porosidade difusa, pouco abundantes (5-20  $\text{mm}^2$ ), agrupamento dos vasos predominante múltiplos radiais, de formato circular a oval e dispostos em cadeias radiais. **Parênquima axial:** observado a olho nu, em faixas estreitas/linhas ou reticuladas. **Parênquima radial:** foi observado sendo visível com lente de 20x na superfície transversal e invisível na superfície tangencial. Não contrastados, finos (100  $\mu\text{m}$ ), baixos (< 1 mm) e pouco frequentes (4-12/mm linear), elevado teor de sílica.



Figura 5.16 - Fotomicrografia da madeira de *Manilkara huberi* – a) plano transversal, b) radial e c) tangencial e com aumento de 20x e escala de 1mm.

Fonte: Autor

#### Descrição microscópica

Figura 5.17 e 5.18: fotomicrografia dos vasos, raios e fibras

**Vasos:** solitários e múltiplos, pouco abundantes 10,6  $\text{mm}^2$ , médios 115,85  $\mu\text{m}$  de diâmetro, parcialmente obstruídos por tilos e substância oleosa, placa de perfuração simples. **Raios** heterocelulares, de 2 a 3 fileiras de células quadradas e eretas, unisseriados e bisseriados, pouco frequentes 7,37 mm linear, baixos 0,25 mm de altura (Apêndice 1 Tabela 1). **Fibras:** libriformes de extensão longa 1,69 mm e 24,43  $\mu\text{m}$  de largura, de parede muito espessa 10,78  $\mu\text{m}$  e lume quase imperceptível 2,88  $\mu\text{m}$  (Apêndice 1 Tabela 2).

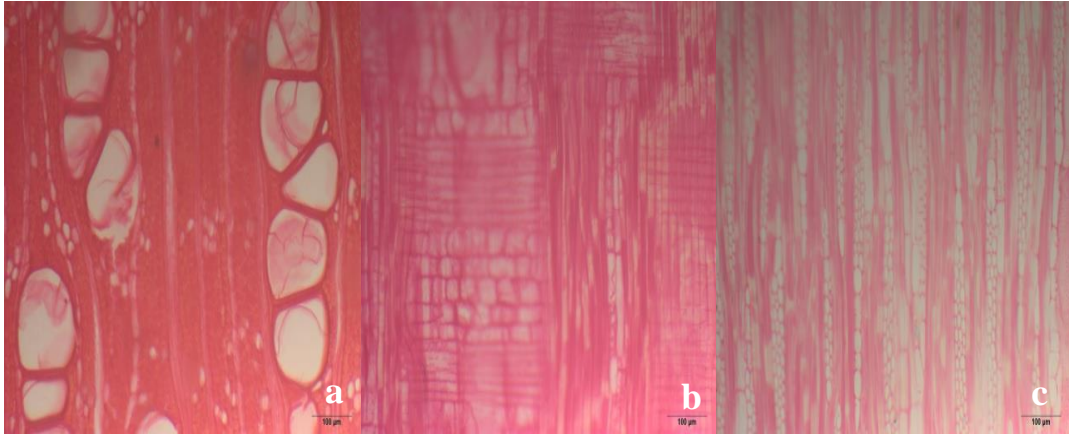


Figura 5.17 - Fotomicrografia nas seções a) transversal, b) radial e c) tangencial *M. huberi* escala 100µm.

Fonte: Autor

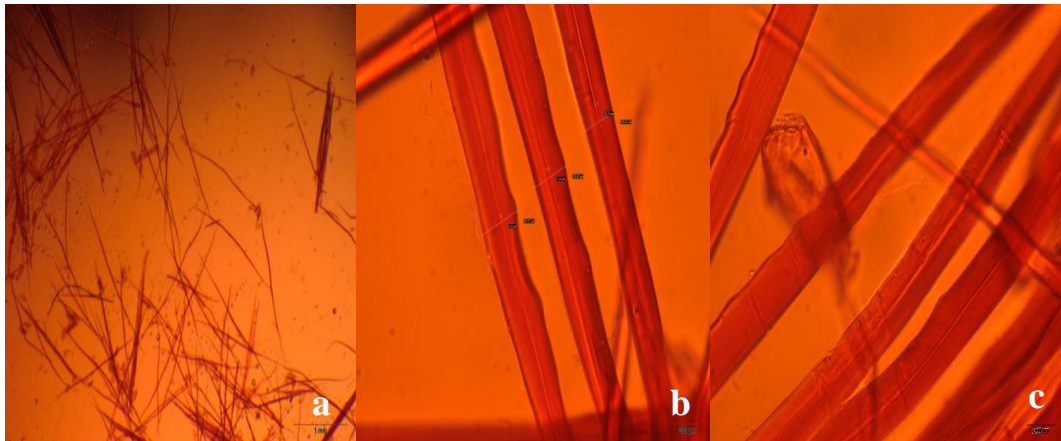


Figura 5.18 - Fotomicrografia das fibras de *M. huberi* consideradas na mensuração do a) comprimento (escala 1mm), b) largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular (escala 20µm) c) descrição microscópica.

Fonte: Autor

#### GARAPEIRA – (*Apuleia leiocarpa*)

Nome vulgar: Garapa, garapeira, garapeiro, garapinha, grápia, barajuba, amarelinho, amarelão, garrote, muiarajuba. Nome científico: *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F. Macbr; Família: Fabaceae (REFLORA, 2017).

#### Descrição geral

A madeira possui diferença distinta entre o cerne e alborno, coloração marrom oliva, alteração da cor por fotooxidação, cheiro perceptível agradável, e gosto imperceptível, brilho moderado nas superfícies longitudinais. Madeira dura ao corte manual no plano transversal,

grã entrecruzada ou revessa, textura fina, figura presente, camadas de crescimento pouco distintas.

#### Descrição macroscópica

No plano transversal (Figura 5.19), os vasos são visíveis sob lente de 20x, com diâmetro tangencial médio (100-200  $\mu\text{m}$ ), porosidade difusa, pouco abundantes (5-20  $\text{mm}^2$ ), arranjo diagonal e radial, predominantemente solitários e múltiplos, de formato circular a oval.

**Parênquima axial:** visível sob lente de 20x, do tipo paratraqueal aliforme linear de extensão curta ou confluyente em trechos curtos ou em faixas estreitas ou em linhas; ou marginais ou simulando faixas marginais. **Parênquima radial:** visível sob lente de 20x. Não contrastados na superfície radial. Finos (100  $\mu\text{m}$ ), baixos (< 1 mm), pouco frequentes (4-12/mm linear). No plano longitudinal tangencial, o parênquima radial é visível sob lente de 20x, com estruturas estratificadas regulares com 4 listras por mm. Linhas vasculares retas.

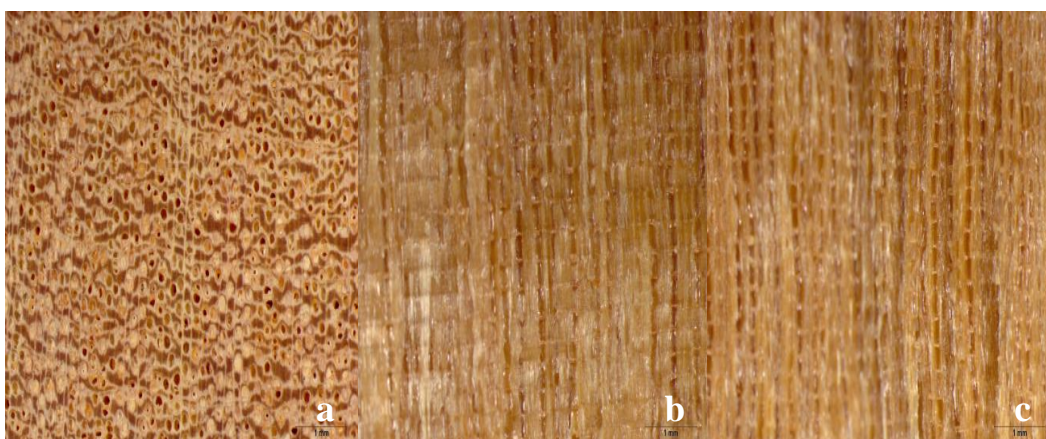


Figura 5.19 - Fotomacrografia da madeira de *Apuleia leiocarpa* – a) plano transversal, b) radial e c) tangencial e com aumento de 20x e escala de 1mm.

Fonte: Autor

#### Descrição microscópica

Figura 5.20 e 5.21: fotomicrografia dos vasos, raios e fibras

**Vasos:** solitários e múltiplos entre 2 e 4, pouco abundantes 13,90  $\text{mm}^2$ , médios 110,24  $\mu\text{m}$  de diâmetro, parcialmente obstruídos por substância amarelada e oleosa, placa de perfuração simples. **Raios** estratificados heterocelulares, formados por células quadradas e eretas, bisseriadas, pouco frequentes 10,00 mm linear, baixos 0,13 mm de altura (Apêndice 1 Tabela 1). **Fibras:** libriformes de extensão curta 1,35 mm e 15,00  $\mu\text{m}$  de largura, de parede espessa 6,06  $\mu\text{m}$  e lume delgado 2,88  $\mu\text{m}$  (Apêndice 1 Tabela 2).

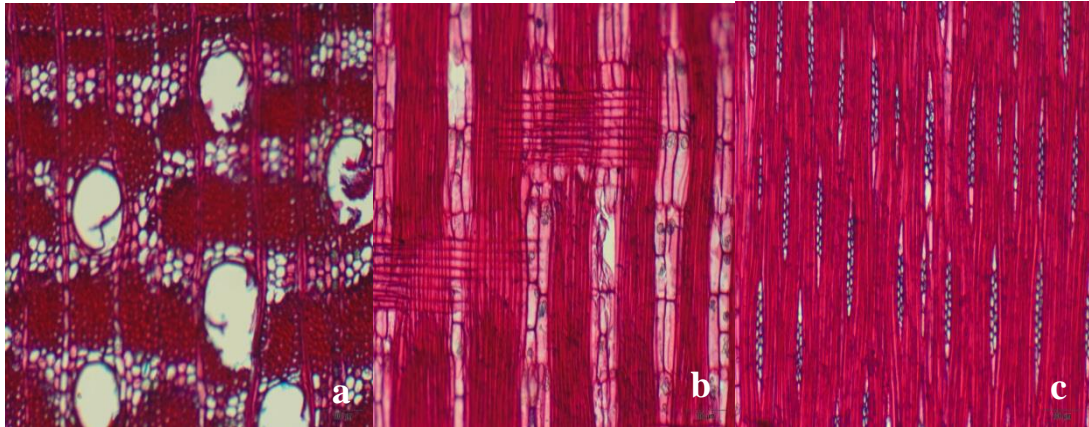


Figura 5.20 - Fotomicrografia nas seções a) transversal, b) radial e c) tangencial de *A. leiocarpa* escala 100 $\mu$ m.

Fonte: Autor

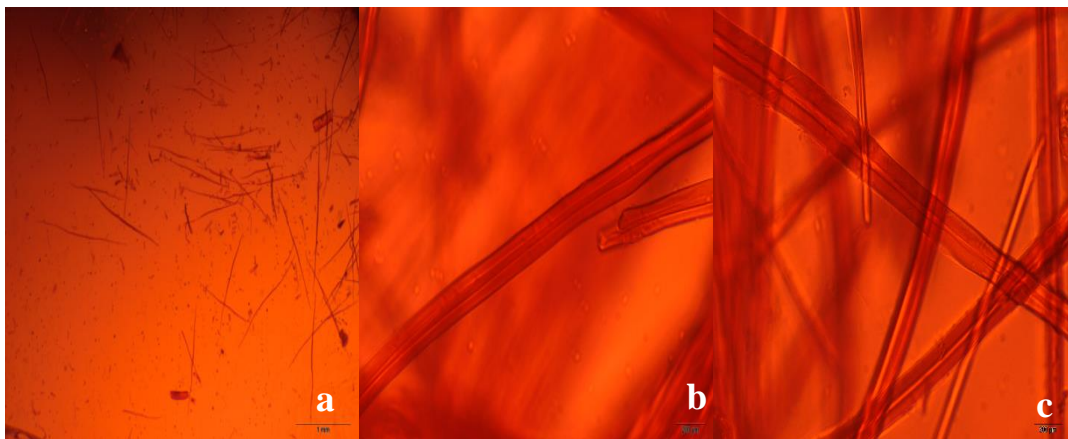


Figura 5.21 - Fotomicrografia das fibras de *A. leiocarpa* consideradas na mensuração do a) comprimento (escala 1mm), b) largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular (escala 20 $\mu$ m) e c) descrição microscópica.

Fonte: Autor

### CUMARÚ – (*Dipteryx odorata*)

Nome vulgar: Barú, cumbarú, combaru, cumarú, cumabaru amarelo, champanhe, João Duro.

Nome científico: *Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd; Família: Fabaceae (REFLORA, 2017).

#### Descrição geral

Cerne e alburno distintos, coloração marrom claro. Limites dos anéis de crescimento indistintos, brilho nas superfícies longitudinais, cheiro e gosto imperceptível, madeira dura ao corte manual no plano transversal, grã reversa, textura média, figura ausente.

### Descrição macroscópica

No plano transversal (Figura 5.22), os vasos estão presentes e são visíveis sob lente com 20x de aumento, diâmetro tangencial médio (100-200  $\mu\text{m}$ ), com porosidade difusa, pouco abundantes (5-20  $\text{mm}^2$ ), agrupamento dos poros predominantemente solitários, de formato circular a oval e dispostos em padrão não definido. **Parênquima axial:** observado sob lente com 20x de aumento, paratraquelal aliforme curto linear e aliforme losangular. **Parênquima radial:** foi observado sendo visível a olho nú na superfície transversal e sob lente com 20x de aumento na superfície tangencial. Pouco contrastados, finos (100  $\mu\text{m}$ ), baixos (< 1 mm) e numerosos (> 12 mm linear).

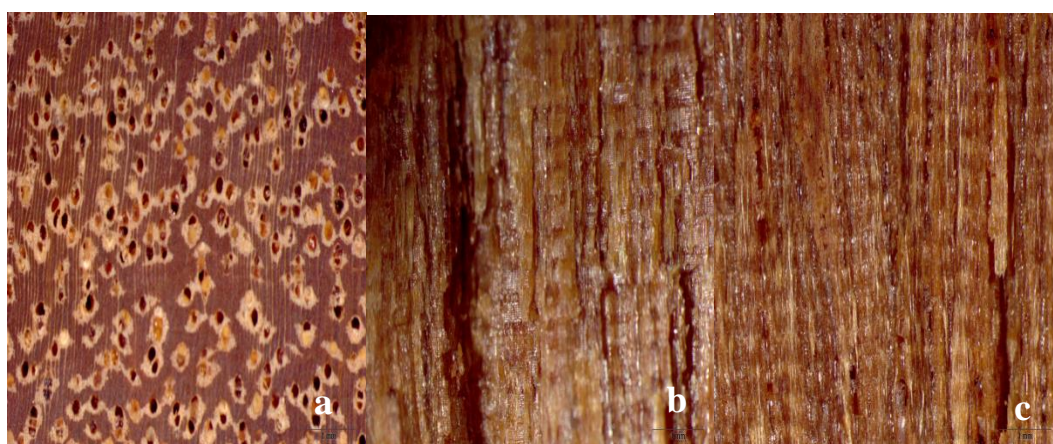


Figura 5.22 - Fotomacrografia da madeira de *Dipterix odorata* – a) plano transversal, b) radial e c) tangencial e com aumento de 20x e escala de 1mm.

Fonte: Autor

### Descrição microscópica

Figura 5.23 e 5.24: fotomicrografia dos vasos, raios e fibras

**Vasos:** solitários e múltiplo de até 5, pouco abundantes 10,67  $\text{mm}^2$ , médios 115,37  $\mu\text{m}$  de diâmetro, parcialmente obstruídos por substância oleosa, placa de perfuração simples.

**Raios:** estratificados homocelulares, formados por células procumbentes unisseriadas, numerosos 13,23 mm linear, baixos 0,19 mm de altura (Apêndice 1 Tabela 1). Estratificação presente.

**Fibras:** libriformes de extensão curta 1,25 mm e 21,35  $\mu\text{m}$  de largura, de parede espessa 9,81  $\mu\text{m}$  e lume quase imperceptível 1,72  $\mu\text{m}$  (Apêndice 1 Tabela 2).

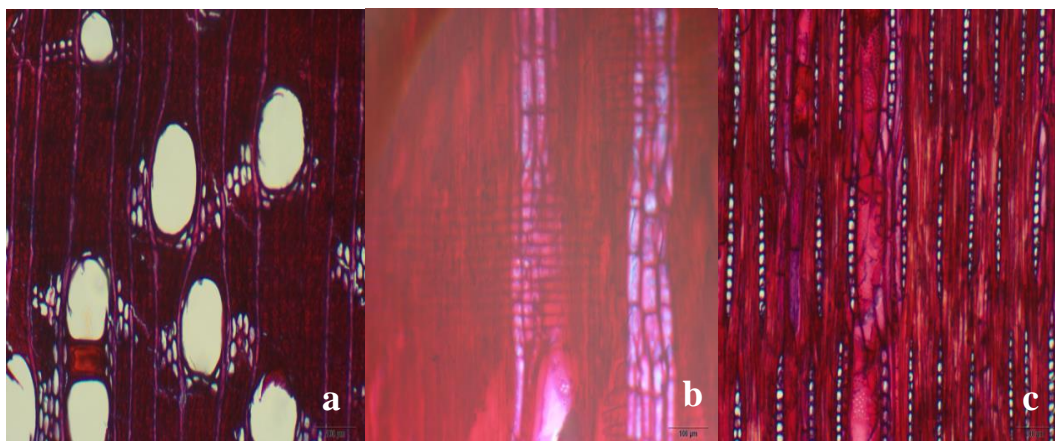


Figura 5.23 - Fotomicrografia nas seções a) transversal, b) radial e c) tangencial *D. odorata* escala 100µm.

Fonte: Autor

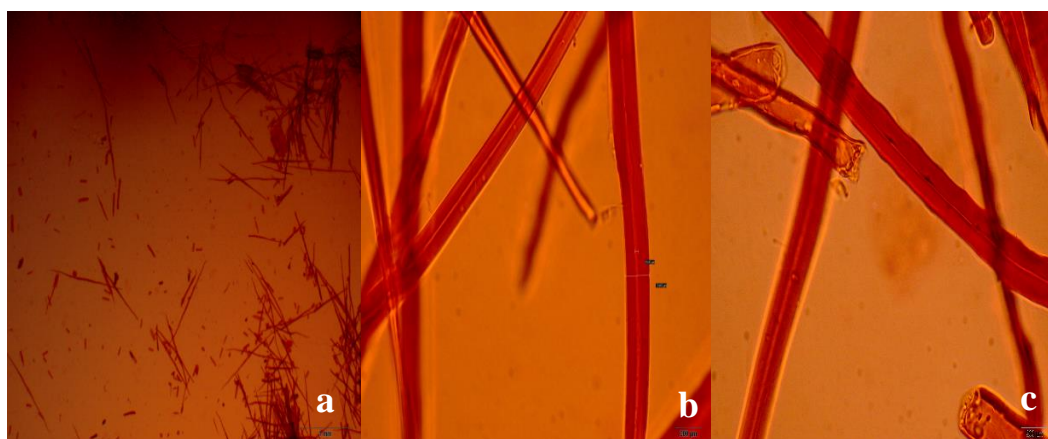


Figura 5.24 - Fotomicrografia das fibras de *D. odorata* consideradas na mensuração do a) comprimento (escala 1mm), b) largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular (escala 20µm) e c) descrição microscópica.

Fonte: Autor

### MARUPÁ – (*Simarouba amara*)

Nome vulgar: Marupá, tamanqueira, caixeta, caixeta amarela, malacaixeta, marapaúba, calunga, marupá verdadeiro, pau paraíba e simaruba. Nome científico: *Simarouba amara* Aubl; Família: Simaroubaceae (REFLORA, 2017).

#### Descrição geral

Cerne e albarno indistintos, coloração branco acinzentado. Limites dos anéis de crescimento pouco distintos, brilho moderado nas superfícies longitudinais, cheiro imperceptível e gosto ligeiramente amargo, madeira macia ao corte manual no plano transversal, grã direita, textura média e figura ausente.



### Descrição macroscópica

No plano transversal (Figura 5.25), os vasos estão presentes e são visíveis a olho nu, diâmetro tangencial grande ( $>200\ \mu\text{m}$ ), com porosidade difusa, muito pouco abundantes ( $< 5\ \text{mm}^2$ ), agrupamento dos vasos predominantemente solitários, de formato circular a oval e dispostos em padrão não definido. **Parênquima axial:** foi observado sob lente com 20x de aumento, paratraqueal aliforme longo linear e confluyente formando faixas. **Parênquima radial:** foi observado sendo visível a olho nu na superfície transversal e sob lente na superfície tangencial. Pouco contrastado, finos ( $100\ \mu\text{m}$ ), baixos ( $< 1\ \text{mm}$ ) e pouco frequentes (4-12/mm linear), estratificação presente.

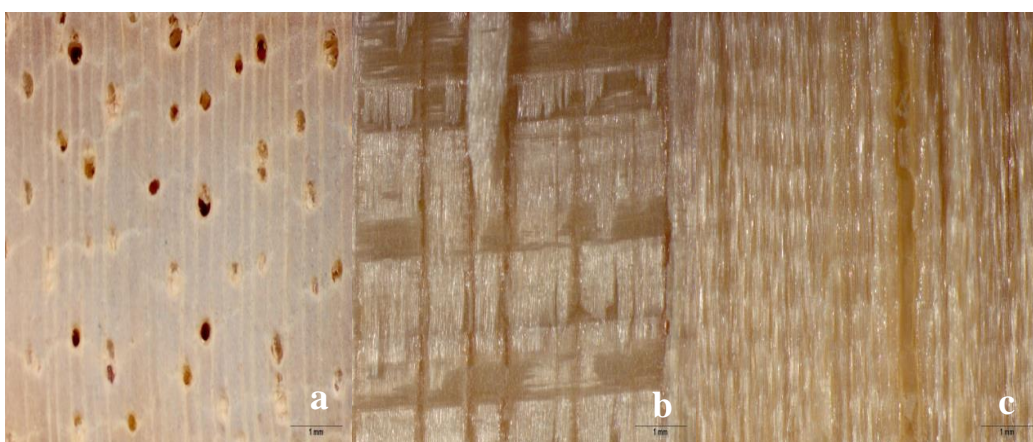


Figura 5.25 - Fotomacrografia da madeira de *Simarouba amara* – a) plano transversal, b) radial e c) tangencial e com aumento de 20x e escala de 1mm.

Fonte: Autor

### Descrição microscópica

Figura 5.26 e 5.27: fotomicrografia dos vasos, raios e fibras

**Vasos:** solitários, muito pouco abundante  $4,1\ \text{mm}^2$ , grandes  $221,91\ \mu\text{m}$  de diâmetro, parcialmente obstruídos por substância branca, placa de perfuração simples. **Raios:** homocelulares, formados por células procumbentes bisseriados, trisseriados, pouco frequentes  $5,8\ \text{mm}$  linear, baixos  $0,35\ \text{mm}$  de altura (Apêndice 1 Tabela 1). Estratificação presente. **Fibras:** libriformes de extensão curta  $1,18\ \text{mm}$  e  $35,10\ \mu\text{m}$  de largura, de parede delgada  $4,95$  e lume espesso  $25,21$  (Apêndice 1 Tabela 2).

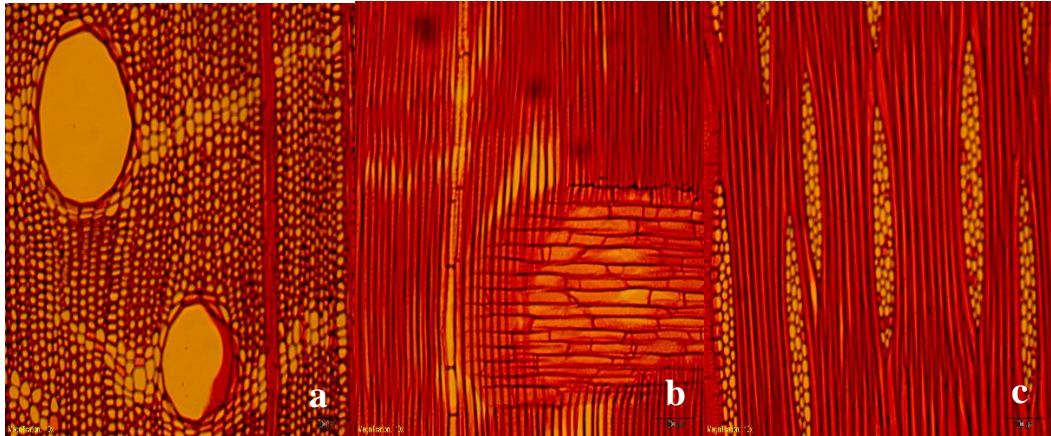


Figura 5.26 - Fotomicrografia nas seções a) transversal, b) radial e c) tangencial de *S. amara* escala 100 $\mu$ m.

Fonte: Autor

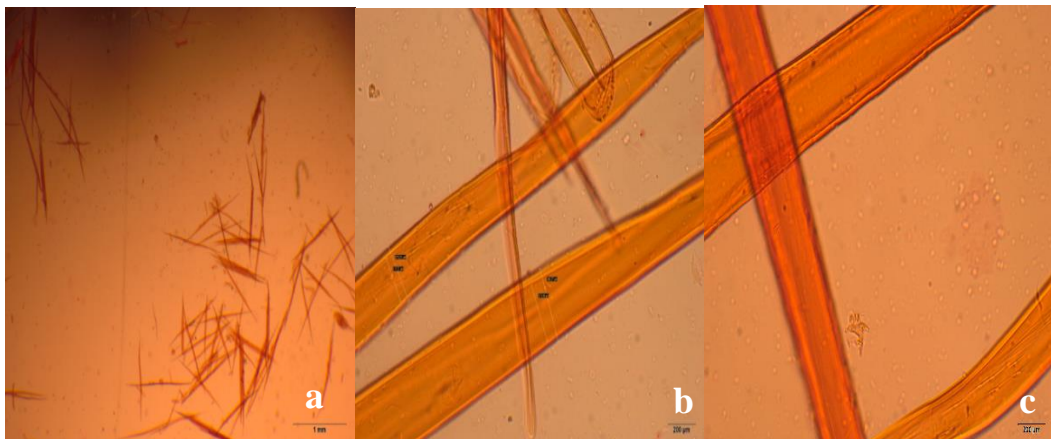


Figura 5.27 - Fotomicrografia das fibras de *S. amara* consideradas na mensuração do a) comprimento (escala 1mm), b) largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular (escala 20 $\mu$ m) e c) descrição microscópica.

Fonte: Autor

### CEDRORANA – (*Cedrelinga cateniformis*)

Nome vulgar: Cedrorana, cedro arana, cedro amazonense, cedro branco, cedrão, cedro alagoano. Nome científico: *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke; Família: Fabaceae (REFLORA, 2017).

#### Descrição geral

Cerne e albarno indistintos, coloração marrom-claro. Limites dos anéis de crescimento pouco distintos e indistintos, brilho nas superfícies longitudinais, cheiro e gosto imperceptível, madeira macia ao corte manual no plano transversal, grã direita, textura média e figura presente.

### Descrição macroscópica

No plano transversal (Figura 5.28), os vasos estão presentes e são visíveis a olho nu, diâmetro tangencial grande ( $> 200 \mu\text{m}$ ), com porosidade difusa, muito pouco abundantes ( $< 5 \text{ mm}^2$ ), agrupamento dos vasos predominantemente solitários, de formato circular a oval e dispostos em padrão não definido. **Parênquima axial:** observado sob lente com 20x de aumento, paratraquelal vasicêntrico escasso. **Parênquima radial:** foi observado sendo visível nas duas superfícies transversal e tangencial sob lente de 20x de aumento. Contrastados, finos ( $100 \mu\text{m}$ ), baixos ( $< 1 \text{ mm}$ ) e numerosos ( $> 12/\text{mm linear}$ ).

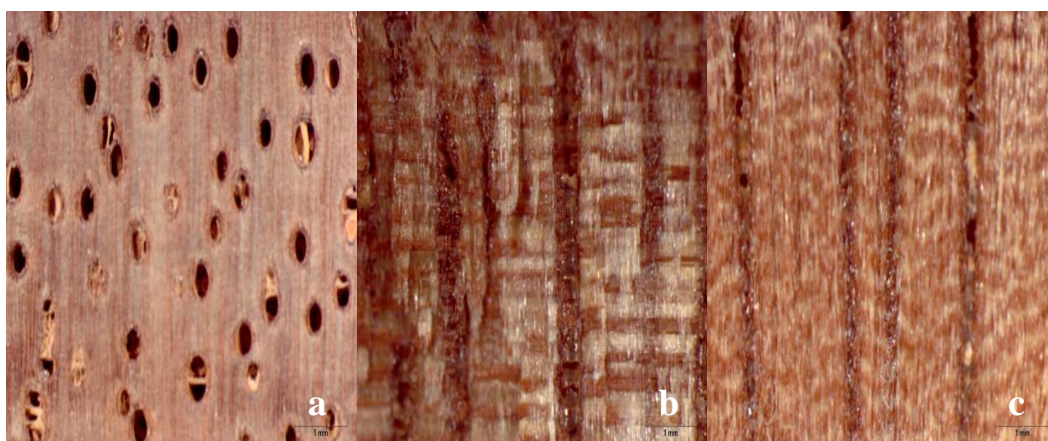


Figura 5.28 - Fotomacrografia da madeira de *Cedrelinga cateniformis* – a) plano transversal, b) radial e c) tangencial e com aumento de 20x e escala de 1mm.

Fonte: Autor

### Descrição microscópica

Figura 5.29 e 5.30: fotomicrografia dos vasos, raios e fibras

**Vasos:** solitários e múltiplos, muito pouco abundante  $2,57 \text{ mm}^2$ , grandes  $291,25 \mu\text{m}$  de diâmetro, parcialmente obstruídos por substância amarelada, placa de perfuração simples.

**Raios** homocelulares, formados por células procumbentes unisseriados e bisseriados, numerosos  $13,00 \text{ mm linear}$ , baixos  $0,20 \text{ mm}$  de altura (Apêndice 1 Tabela 1).

**Fibras:** libriformes de extensão curta  $1,07 \text{ mm}$  e  $30,47 \mu\text{m}$  de largura, de parede espessa  $6,70 \mu\text{m}$  e lume espesso  $17,08 \mu\text{m}$  (Apêndice 1 Tabela 2).

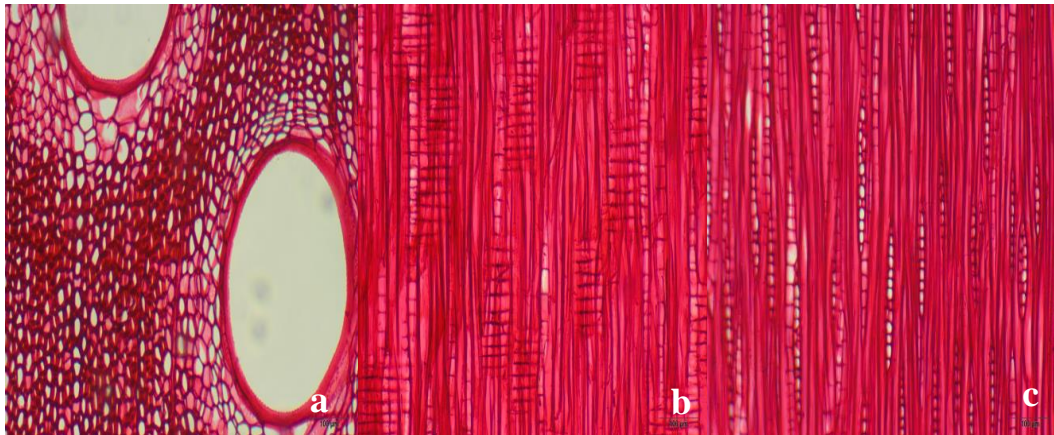


Figura 5.29 - Fotomicrografia nas seções a) transversal, b) radial e c) tangencial *C. cateniformis* escala 100 $\mu$ m.

Fonte: Autor

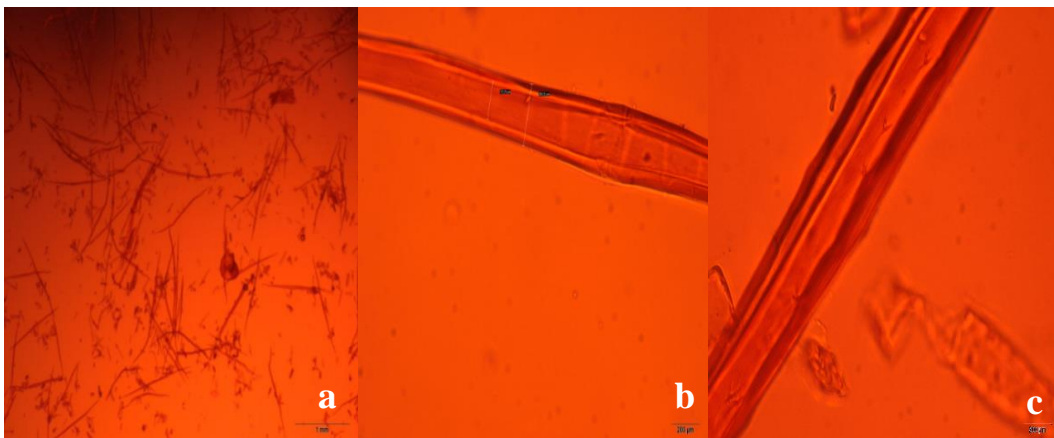


Figura 5.30 - Fotomicrografia das fibras de *C. cateniformis* consideradas na mensuração do a) comprimento (escala 1mm), b) largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular (escala 20 $\mu$ m) e c) descrição microscópica.

Fonte: Autor

#### TAUARI – (*Couratari oblongifolia*)

Nome vulgar: Tauari, dedaleiro, embirema, embirema branca, embirema cheirosa, tauari branco, tauari amarelo, tauari rosa. Nome científico: *Couratari oblongifolia* Ducke & R. Knuth; Família: Sapotaceae (REFLORA, 2017).

#### Descrição geral

Cerne e albarno são indistintos, coloração branco acinzentado. Limites dos anéis de crescimento pouco distintos, com brilho nas superfícies longitudinais, cheiro e gosto imperceptível, madeira macia ao corte manual no plano transversal, grã direita, textura média e figura ausente.

### Descrição macroscópica

No plano transversal (Figura 5.31), os vasos estão presentes e são visíveis a olho nu, diâmetro tangencial grande ( $> 200 \mu\text{m}$ ), com porosidade difusa, muito pouco abundantes ( $< 5 \text{ mm}^2$ ), agrupamento dos vasos em porções semelhantes solitários/múltiplos radiais, de formato circular a oval e dispostos em cadeias radiais. **Parênquima axial:** observado sob lente com 20x de aumento, em faixas reticuladas. **Parênquima radial:** observado sendo visível a olho nu na superfície transversal e sob lente de 20x de aumento na superfície tangencial. Pouco contrastados, finos ( $100 \mu\text{m}$ ), baixos ( $< 1 \text{ mm}$ ) e pouco frequentes (4-12/mm linear).

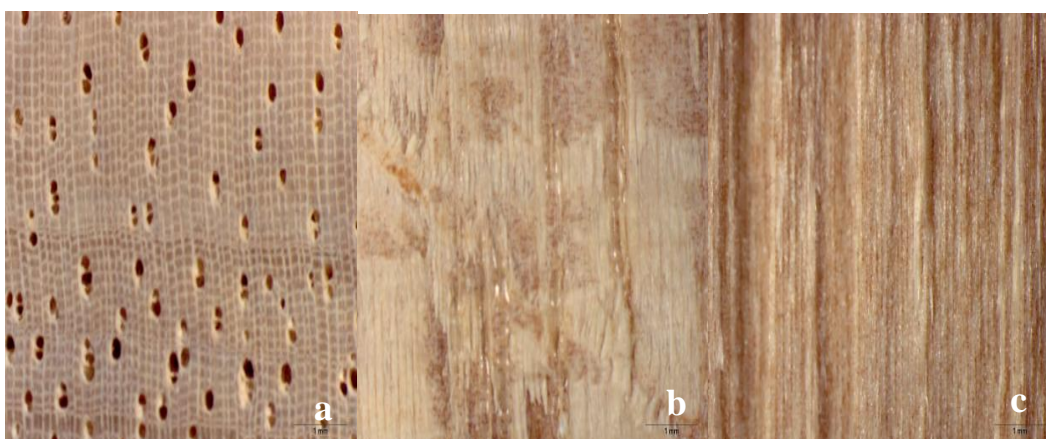


Figura 5.31 - Fotomacrografia da madeira de *Couratari oblongifolia* – a) plano transversal, b) radial e c) tangencial e com aumento de 20x e escala de 1mm.

Fonte: Autor

### Descrição microscópica

Figura 5.32 e 5.33: fotomicrografia dos vasos, raios e fibras

**Vasos:** solitários e múltiplos, muito pouco abundante  $2,57 \text{ mm}^2$ , grandes  $230,31 \mu\text{m}$  de diâmetro, desobstruídos, placa de perfuração simples. **Raios:** homocelulares, formados por células procumbentes, unisseriados e multisseriados, pouco frequentes  $8,43 \text{ mm}$  linear, baixo  $0,64 \text{ mm}$  de altura (Apêndice 1 Tabela 1). **Fibras:** libriformes de extensão longa  $1,72 \text{ mm}$  e  $25,39 \mu\text{m}$  largura, de parede delgada  $5,00 \mu\text{m}$  e lume espesso  $15,41 \mu\text{m}$  (Apêndice 1 Tabela 2).

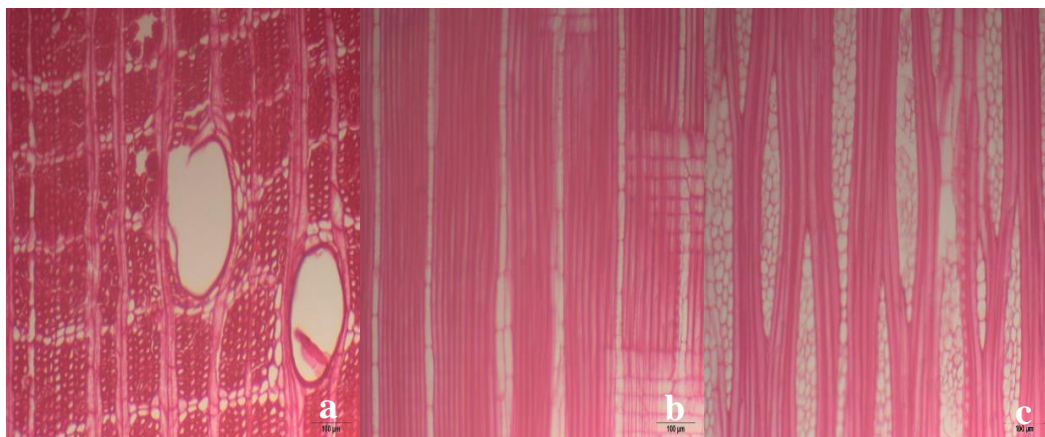


Figura 5.32 - Fotomicrografia nas seções a) transversal, b) radial e c) tangencial *C. oblongifolia* escala 100 $\mu$ m.

Fonte: Autor

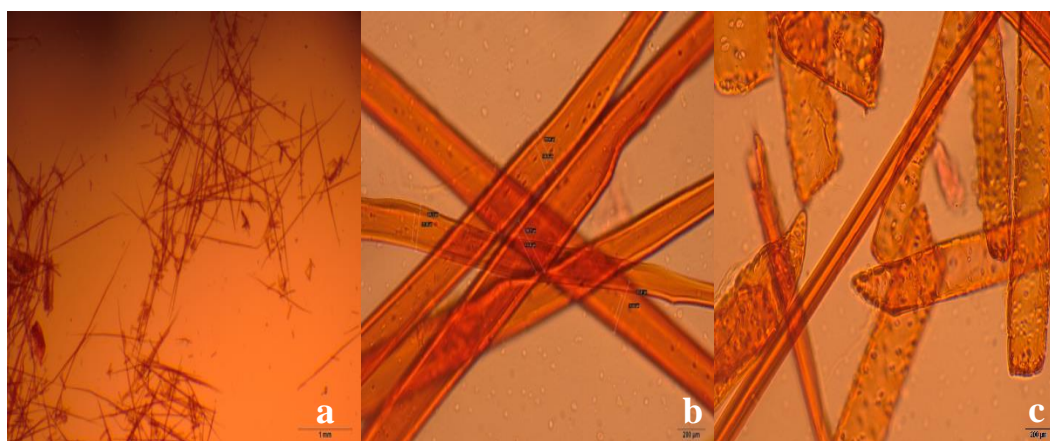


Figura 5.33 - Fotomicrografia das fibras de *C. oblongifolia* consideradas na mensuração do a) comprimento (escala 1mm), b) largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular (escala 20 $\mu$ m) e c) descrição microscópica.

Fonte: Autor

### JATOBÁ – (*Hymenaea courbaril*)

Nome vulgar: Courbaril, jatobá, jatobá da mata, jatobá mirim, jatobá roxo, jatobá verdadeiro, jataí, jataí amarelo, jataí vermelho, jutaí, jutaí açu, jutaí roxo. Nome científico: *Hymenaea courbaril* L. Família: Fabaceae (REFLORA, 2017).

#### Descrição geral

A madeira possui diferença distinta entre cerne e alburno, coloração amarelo amarronzado. Limites dos anéis de crescimento distintos, individualizados por parênquima marginal, com brilho nas superfícies longitudinais, cheiro e gosto imperceptível, madeira dura ao corte manual no plano transversal, grã irregular e reversa, textura fina e figura presente.

### Descrição macroscópica

No plano transversal (Figura 5.34), os vasos estão presentes e são visíveis a olho nu, diâmetro tangencial médio (100-200  $\mu\text{m}$ ), com porosidade difusa, muito pouco abundantes ( $< 5 \text{ mm}^2$ ), agrupamento dos poros predominante múltiplos, de formato circular a oval e dispostos em padrão não definido. **Parênquima axial:** observado a olho nu, paratraqueal aliforme losangular, vasicêntrico ou em faixas marginais. **Parênquima radial:** foi observado sendo visível a olho nu na superfície transversal e tangencial. Pouco contrastados, finos (100  $\mu\text{m}$ ), baixos ( $< 1 \text{ mm}$ ) e pouco frequentes (4-12/mm linear), estratificação presente.



Figura 5.34 - Fotomacrografia da madeira de *Hymenaea courbaril* – a) plano transversal, b) radial e c) tangencial e com aumento de 20x e escala de 1mm.

Fonte: Autor

### Descrição microscópica

Figura 5.35 e 5.36: fotomicrografia dos vasos, raios e fibras

**Vasos:** solitários e múltiplos, muito pouco abundante  $2,47 \text{ mm}^2$ , médios 191,48  $\mu\text{m}$  de diâmetro, desobstruídos, placa de perfuração simples. **Raios:** homocelulares, formados por células procumbentes, multisseriados, pouco frequentes 5,47 mm linear, baixos 0,52 mm de altura (Apêndice 1 Tabela 1). **Fibras:** libriformes de extensão curta 1,29 mm e 20,80  $\mu\text{m}$  de largura, de parede espessa 6,97  $\mu\text{m}$  e lume delgado 6,87  $\mu\text{m}$  (Apêndice 1 Tabela 2).

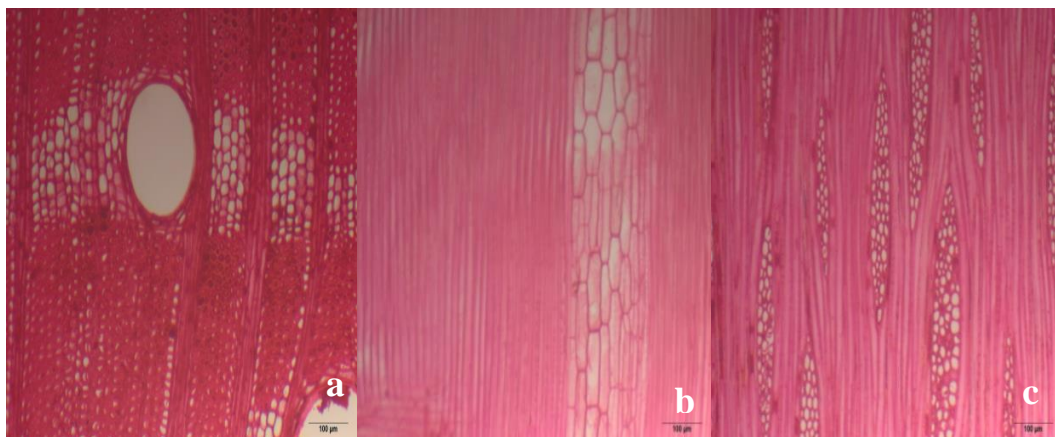


Figura 5.35 - Fotomicrografia nas seções a) transversal, b) radial e c) tangencial de *H. courbaril* escala 100µm.

Fonte: Autor

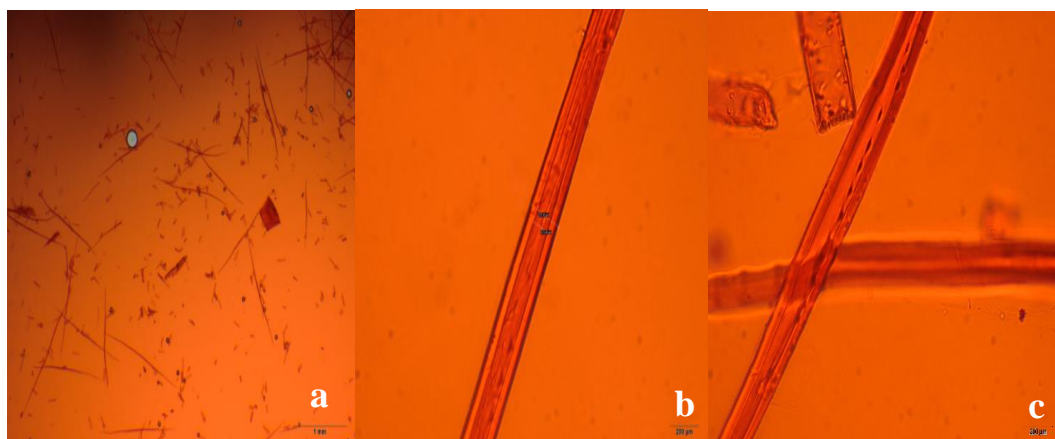


Figura 5.36 - Fotomicrografia das fibras de *H. courbaril* consideradas na mensuração do a) comprimento (escala 1mm), b) largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular (escala 20µm) e c) descrição microscópica.

Fonte: Autor

### ANGELIM VERMELHO – (*Dinizia excelsa*)

Nome vulgar: Angelim vermelho, faveira ferro, faveira dura. Nome científico: *Dinizia excelsa* Ducke; Família: Fabaceae (REFLORA, 2017).

#### Descrição geral

Corne e albúrne distintos, coloração amarelo amarronzado. Limites dos anéis de crescimento distintos, com brilho nas superfícies longitudinais, cheiro perceptível não agradável e gosto imperceptível, madeira dura ao corte manual no plano transversal, grã direita, textura média e figura presente.



### Descrição macroscópica

No plano transversal (Figura 5.37), os vasos estão presentes e são visíveis a olho nu, diâmetro tangencial médio (100-200  $\mu\text{m}$ ), com porosidade difusa, muito pouco abundantes ( $< 5 \text{ mm}^2$ ), agrupamento dos vasos com porções semelhantes solitários e múltiplos radiais, de formato circular a oval e dispostos em padrão não definido. **Parênquima axial:** observado a olho nu, paratraquelal aliforme curto linear e confluyente em trechos curtos e em faixas marginais. **Parênquima radial:** foi observado sendo visível nas duas superfícies transversal e tangencial sob lente de 20x de aumento. Pouco contrastados, finos (100 $\mu\text{m}$ ), baixos ( $< 1\text{mm}$ ) e pouco frequentes (4-12/mm linear).

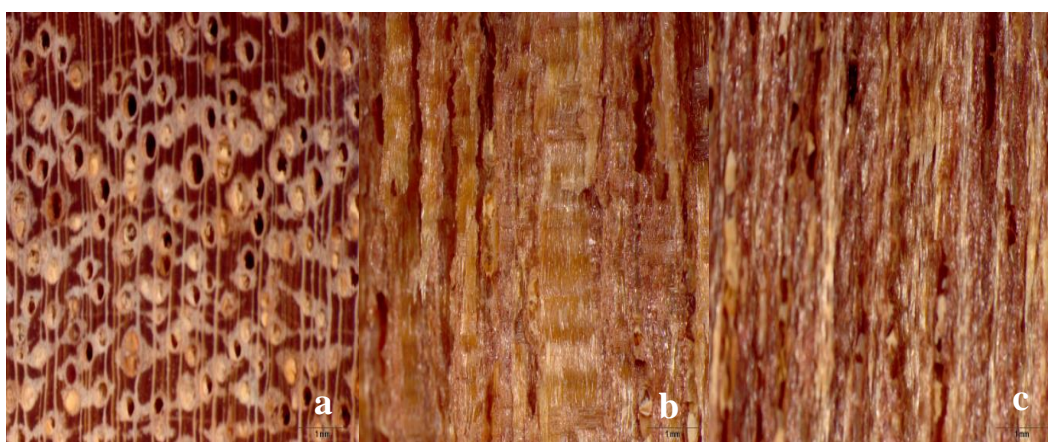


Figura 5.37 - Fotomacrografia da madeira de *Dinizia excelsa* – a) plano transversal, b) radial e c) tangencial e com aumento de 20x e escala de 1mm.

Fonte: Autor

### Descrição microscópica

Figura 5.38 e 5.39: fotomicrografia dos vasos, raios e fibras

**Vasos:** solitários e múltiplos, muito pouco abundante  $4,27 \text{ mm}^2$ , médios  $125,60 \mu\text{m}$  de diâmetro, parcialmente obstruídos por substância esbranquiçada, placa de perfuração simples. **Raios:** homocelulares, formados por células procumbentes, unisseriados, bisseriados e trisseriados, pouco frequentes  $4,83 \text{ mm}$  linear, baixos  $0,35 \text{ mm}$  de altura (Apêndice 1 Tabela 1). **Fibras:** libriformes de extensão curta  $1,24 \text{ mm}$  e  $18,38 \mu\text{m}$  de largura, de parede espessa  $7,54 \mu\text{m}$  e lume delgado  $3,30 \mu\text{m}$  (Apêndice 1 Tabela 2).

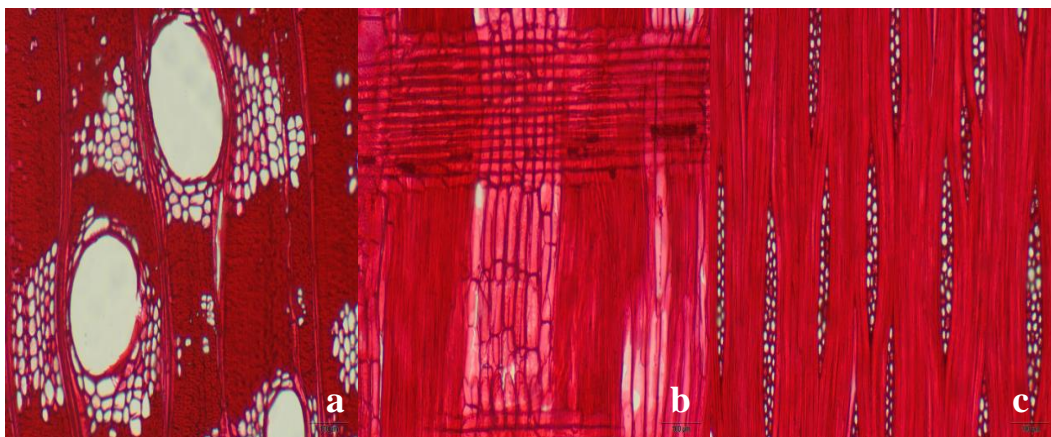


Figura 5.38 - Fotomicrografia nas seções a) transversal, b) radial e c) tangencial *D. excelsa* escala 100 $\mu$ m.

Fonte: Autor

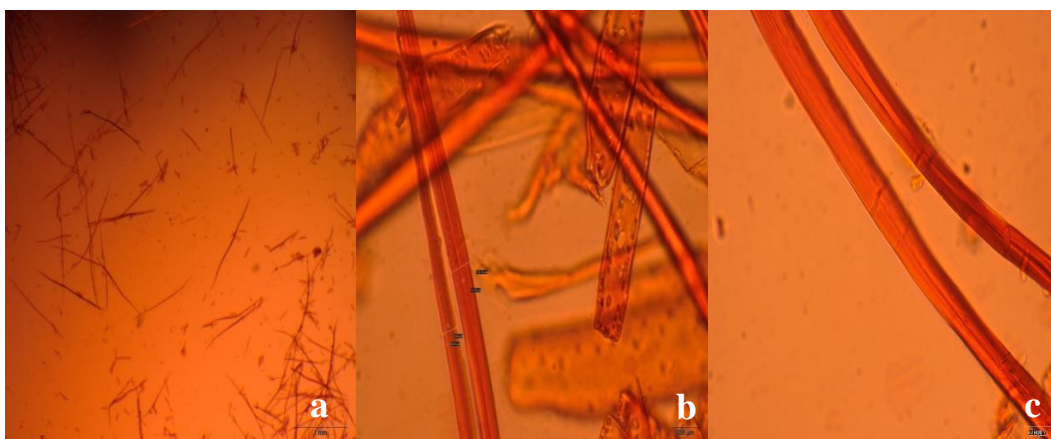


Figura 5.39 - Fotomicrografia das fibras de *D. excelsa* consideradas na mensuração do a) comprimento (escala 1mm), b) largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular (escala 20 $\mu$ m) e c) descrição microscópica.

Fonte: Autor

IPÊ – (*Handroanthus serratifolius*)

Nome vulgar: Ipê verde, Ipê, Ipê amarelo, Ipê do cerrado, Ipê pardo, Ipê ovo de macuco, Piúva, Piúva amarela. Nome científico: *Handroanthus serratifolius* (Vahl) S.O.Grose; Família: Bignoniaceae (REFLORA, 2017).

Descrição geral

A madeira possui diferença distinta entre cerne e alburno, coloração marrom oliva. Limites dos anéis de crescimento distintos, individualizados por zonas fibrosas tangencias mais escuras, com brilho na superfície, cheiro perceptível agradável e gosto imperceptível,

madeira dura ao corte manual no plano transversal, grã entrecruzada ou revesa, textura fina e figura presente. Ocorrência da figura por linhas vasculares.

#### Descrição macroscópica

No plano transversal (Figura 5.40), os vasos estão presentes e são visíveis com uma lente de 20x de aumento na superfície, diâmetro tangencial médio (100-200  $\mu\text{m}$ ), com porosidade difusa, pouco abundante (5-20  $\text{mm}^2$ ), predominantemente solitários, de formato circular a oval e disposto em padrão não definido. **Parênquima axial:** visível com uma lente de 20x de aumento na superfície, do tipo paratraqueal aliforme linear de extensão curta e vasicêntrico. **Parênquima radial:** visível com uma lente de 20x de aumento na superfície. Pouco contrastados, finos (100 $\mu\text{m}$ ), baixos (< 1mm) e pouco frequentes (4-12/mm linear). No plano tangencial, os raios são visíveis somente sob lente de 20x de aumento na superfície. Estruturas estratificadas estão presentes e são irregulares, 4 listras por mm axial.

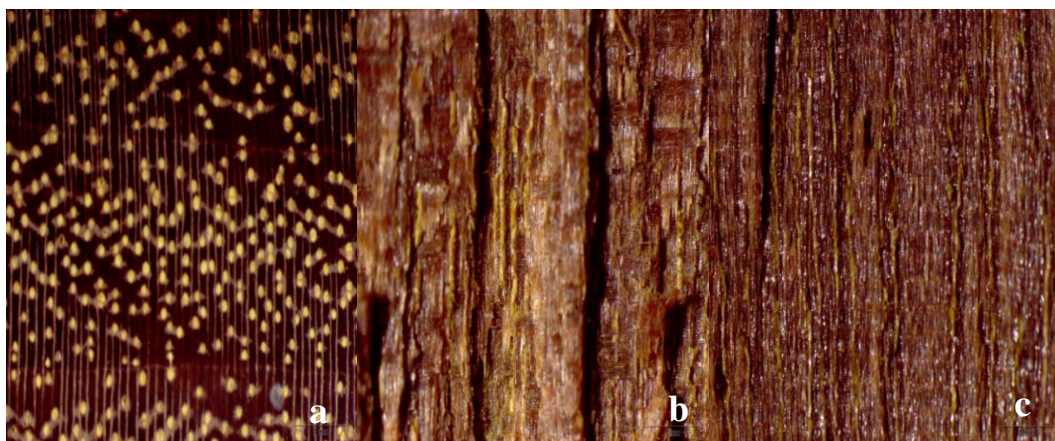


Figura 5.40 - Fotomacrografia da madeira de *Handroanthus serratifolius* – a) plano transversal, b) radial e c) tangencial e com aumento de 20x e escala de 1mm.

Fonte: Autor

#### Descrição microscópica

Figura 5.41 e 5.42: fotomicrografia dos vasos, raios e fibras

**Vasos:** predominantemente solitários, pouco abundantes 14,07  $\text{mm}^2$ , médios 118,66  $\mu\text{m}$  de diâmetro, parcialmente obstruídos por substância amarelada (ipeína), placa de perfuração simples. **Raios:** homocelulares formados por células procumbentes, unisseriados, bisseriados e trisseriados, pouco frequentes 5,57 mm linear, baixos 0,15 mm de altura (Apêndice 1 Tabela 1). **Fibras:** libriformes e septadas de extensão curta 1,30 mm e 17,21 de

largura, de parede espessa  $\mu\text{m}$  7,54 e lume quase imperceptível 2,14  $\mu\text{m}$  (Apêndice 1 Tabela 2).

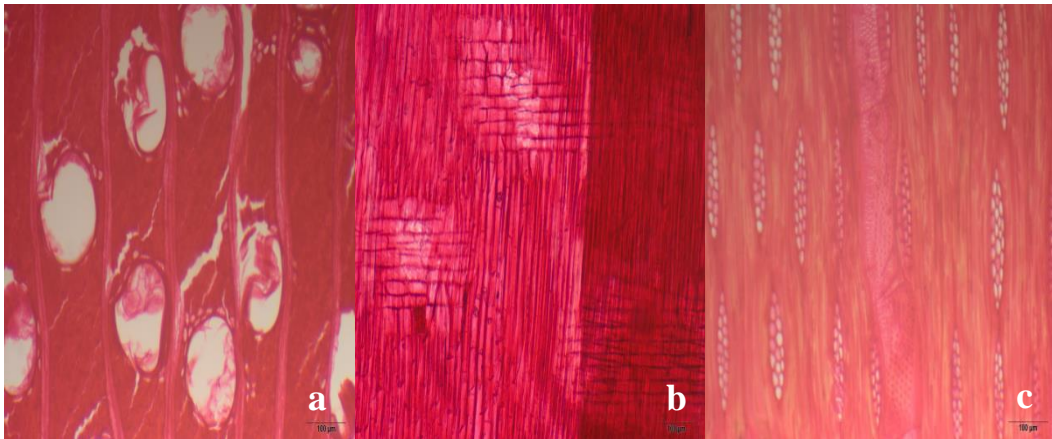


Figura 5.41 - Fotomicrografia nas seções a) transversal, b) radial e c) tangencial de *H. serratifolius* escala 100 $\mu\text{m}$ .

Fonte: Autor

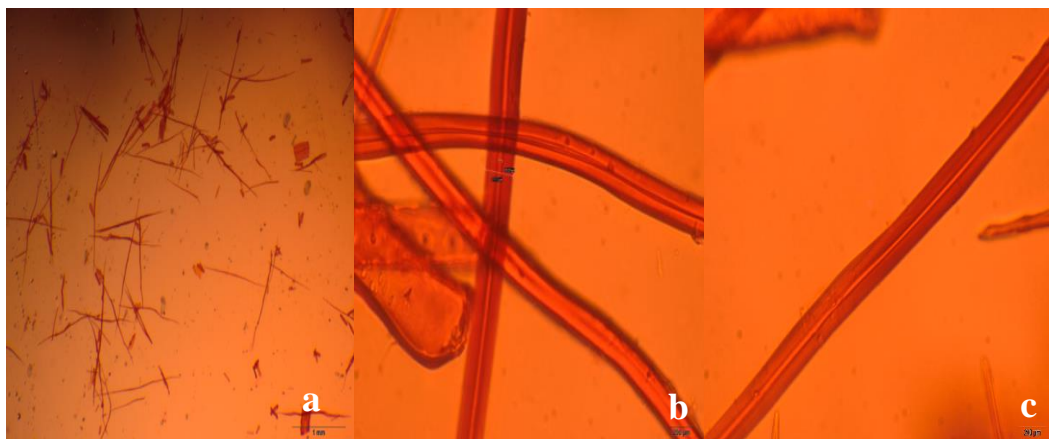


Figura 5.42 - Fotomicrografia das fibras de *H. serratifolius* consideradas na mensuração do a) comprimento (escala 1mm), b) largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular (escala 20 $\mu\text{m}$ ) e c) descrição microscópica.

Fonte: Autor

#### ABIURANA – (*Pouteria egregia*)

Nome vulgar: Abiu, abiu branca, abiu casca grossa, abiu casca seca, abiurana amarela, abiurana branca, abiurana, abiurana vermelha, guapeva, guaxará, guajará, grumixá, pariri, guaxará, leiteiro, leiteiro branco, leiteiro vermelho, tatarubá, taturabá. Nome científico: *Pouteria egregia* Sandwith; Família: Sapotaceae (REFLORA, 2017).

### Descrição geral

Cerne e alburno pouco indistintos, coloração rosa. Limites dos anéis de crescimento indistintos, com brilho nas superfícies longitudinais, cheiro perceptível agradável e gosto imperceptível, madeira dura ao corte manual no plano transversal, grã direita a irregular, textura fina e figura ausente.

### Descrição macroscópica

No plano transversal (Figura 5.43), os vasos estão presentes e são visíveis sob lente, diâmetro tangencial médio (100-200  $\mu\text{m}$ ), com porosidade difusa, pouco abundantes (5-20  $\text{mm}^2$ ), agrupamento dos vasos predominante múltiplos radiais, de formato circular a oval e dispostos em cadeias radiais. **Parênquima axial:** observado sob lente com 20x de aumento, em faixas estreitas/linhas. **Parênquima radial:** foi observado sendo visível na superfície transversal sob lente de 20x de aumento. Pouco contrastados, finos (100  $\mu\text{m}$ ), baixos (< 1 mm) e pouco frequentes (4-12/mm linear).

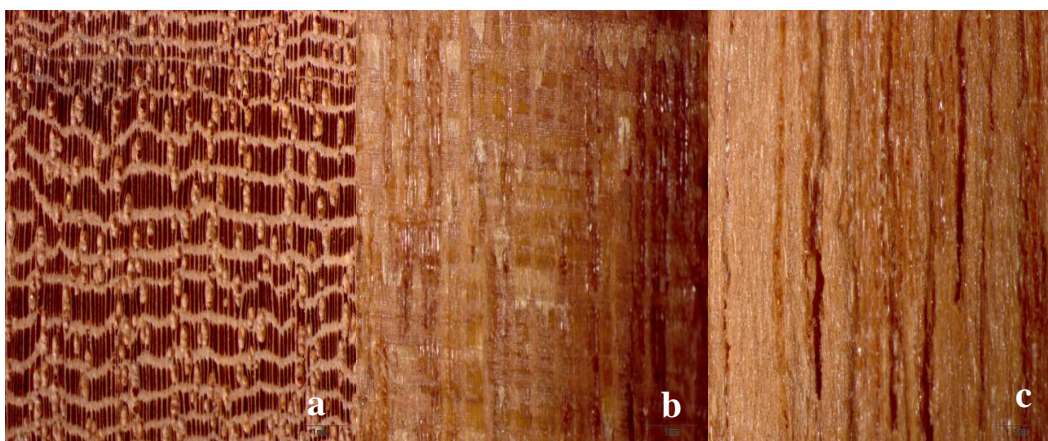


Figura 5.43 - Fotomacrografia da madeira de *Pouteria egregia* – a) plano transversal, b) radial e c) tangencial e com aumento de 20x e escala de 1mm.

Fonte: Autor

### Descrição microscópica

Figura 5.44 e 5.45: fotomicrografia dos vasos, raios e fibras

**Vasos:** múltiplos radiais, pouco abundantes 13,93  $\text{mm}^2$ , médios 119,24  $\mu\text{m}$  de diâmetro, parcialmente obstruídos por tilos, placa de perfuração simples. **Raios** heterocelulares formados por células quadradas e eretas de 1 a 2 fileiras, unisseriados, bisseriados, pouco frequente 8,63 mm linear, baixos 0,31 mm de altura (Apêndice 1 Tabela 1), **Fibras**

libriformes de extensão curta 1,32 mm e 20,73  $\mu\text{m}$  de largura, de parede espessa 8,08  $\mu\text{m}$  e lume delgado 4,56  $\mu\text{m}$  (Apêndice 1 Tabela 2).

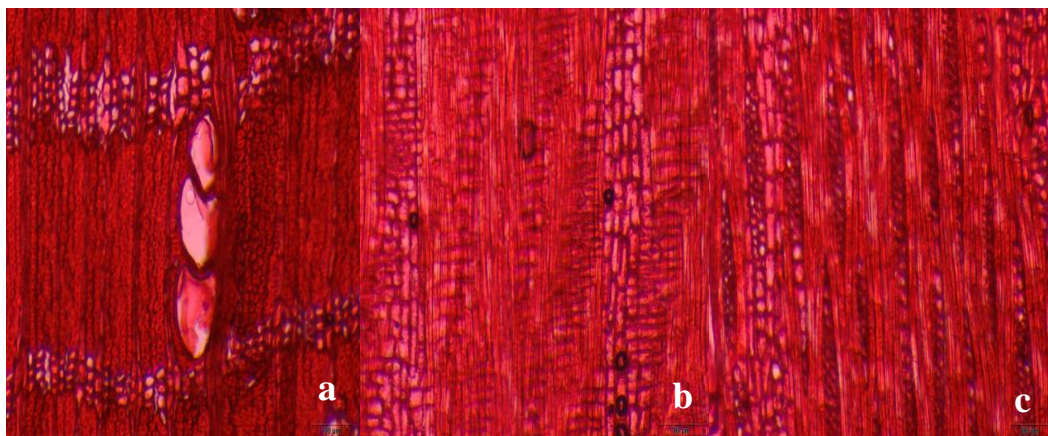


Figura 5.44 - Fotomicrografia nas seções a) transversal, b) radial e c) tangencial *P. egregia* escala 100 $\mu\text{m}$ .

Fonte: Autor

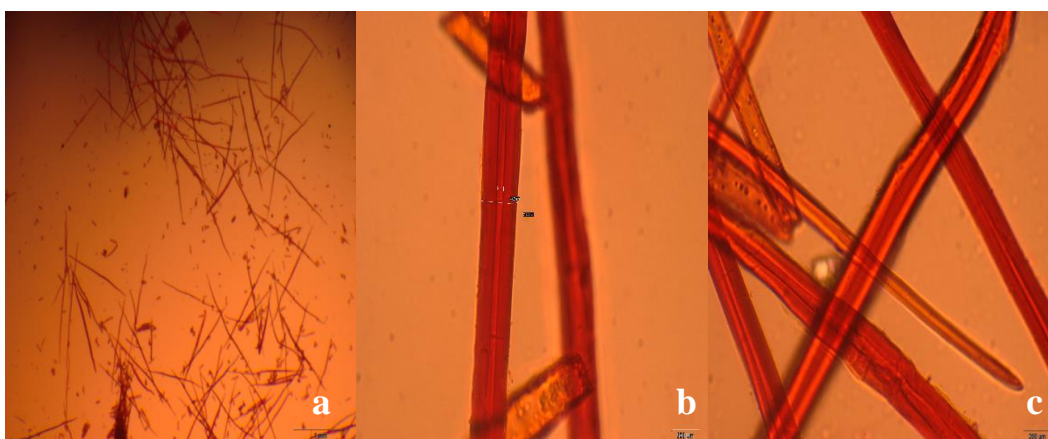


Figura 5.45 - Fotomicrografia das fibras de *P. egregia* consideradas na mensuração do a) comprimento (escala 1mm), b) largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular (escala 20 $\mu\text{m}$ ) e c) descrição microscópica.

Fonte: Autor

### MUIRACATIARA – (*Tetragastris altissima*)

Nome vulgar: Breu vermelho, breu, muiracatiara. Nome científico: *Tetragastris altissima* (Aubl.) Swart; Família: Burseraceae (REFLORA, 2017).

#### Descrição geral

Cerne e albarno indistintos, coloração amarelo amarronzado. Limites dos anéis de crescimento indistintos, sem brilho nas superfícies longitudinais, cheiro e gosto

imperceptível, madeira moderadamente dura ao corte manual no plano transversal, grã reversa, textura fina e figura ausente.

#### Descrição macroscópica

No plano transversal (Figura 5.46), os vasos estão presentes e são visíveis sob lente, diâmetro tangencial médio (100-200  $\mu\text{m}$ ), com porosidade difusa, numerosos (20-40  $\text{mm}^2$ ), agrupamento dos poros com porções semelhantes solitários e múltiplos, de formato circular a oval e dispostos em cadeias radiais. **Parênquima axial:** foi observado sob lente com 20x de aumento, apotraqueal difuso. **Parênquima radial:** foi observado sendo visível sob lente nas superfícies transversal e tangencial. Pouco contrastado, finos (100  $\mu\text{m}$ ), baixos (< 1 mm) e pouco frequentes (4-12/mm linear), estratificação presente.

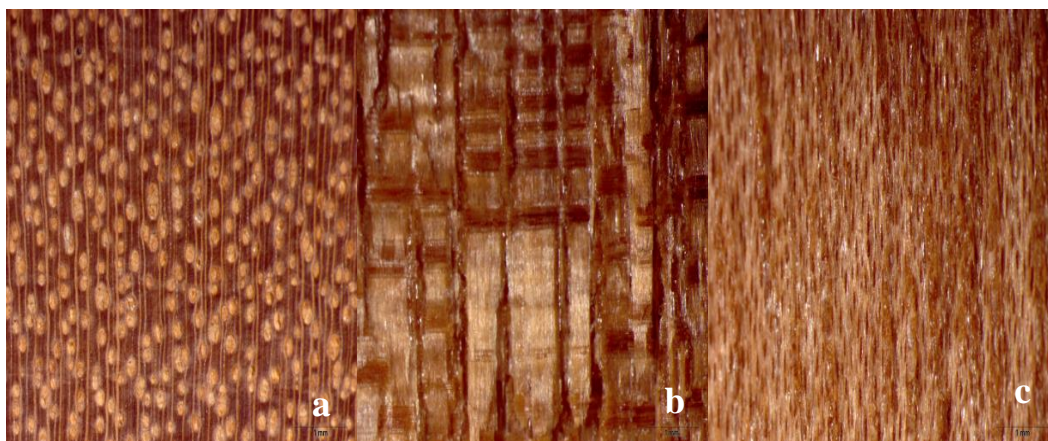


Figura 5.46 - Fotomacrografia da madeira de *Tetragastris altissima* – a) plano transversal, b) radial e c) tangencial e com aumento de 20x e escala de 1mm.

Fonte: Autor

#### Descrição microscópica

Figura 5.47 e 5.48: fotomicrografia dos vasos, raios e fibras

**Vasos** solitários e múltiplos, numerosos 22,90  $\text{mm}^2$ , médios 110,57  $\mu\text{m}$  de diâmetro, parcialmente obstruídos por tilos, placa de perfuração simples. **Raios** heterocelulares formados por células quadradas, unisseriados e multisseriados, pouco frequentes 10,13 mm linear, baixos 0,17 mm de altura (Apêndice 1 Tabela 1). **Fibras** libriformes e septadas de extensão curta 1,07 mm e 15,55  $\mu\text{m}$  de largura, de parede espessa 4,87  $\mu\text{m}$  e lume delgado 5,82  $\mu\text{m}$  (Apêndice 1 Tabela 2).

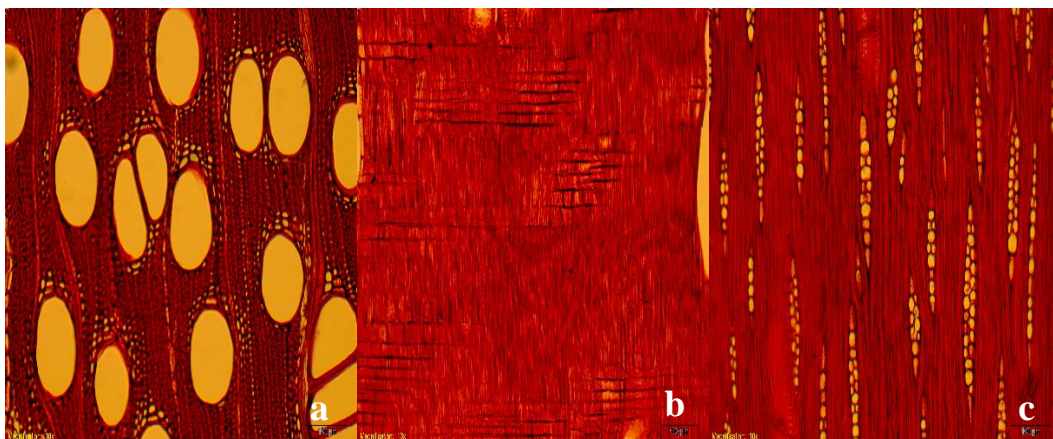


Figura 5.47 - Fotomicrografia nas seções a) transversal, b) radial e c) tangencial *T. altissima* escala 100 $\mu$ m.

Fonte: Autor

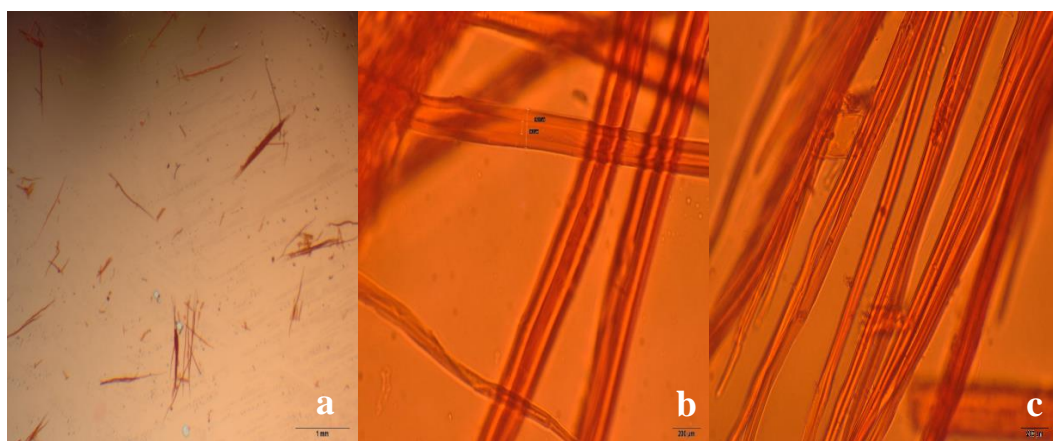


Figura 5.48 - Fotomicrografia das fibras de *T. altissima* consideradas na mensuração do a) comprimento (escala 1mm), b) largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular (escala 20 $\mu$ m) e c) descrição microscópica.

Fonte: Autor

### CAMBARÁ ROSINHA – (*Vochysia máxima*)

Nome vulgar: Cambará, cambará rosinha, cedrinho, cedro rosinha, quaruba, quaruba cedro, quaruba vermelha, quaruba rosa, rosinha, lacre. Nome científico: *Vochysia máxima* Ducke;

Família: Vochysiaceae (REFLORA, 2017).

#### Descrição geral

Cerne e albarno distintos, coloração rosa. Limites dos anéis de crescimento pouco distintos, sem brilho nas superfícies longitudinais, cheiro e gosto imperceptível, madeira moderadamente dura ao corte manual no plano transversal, grã direita, textura média e figura ausente.



### Descrição macroscópica

No plano transversal (Figura 5.49), os vasos estão presentes e são visíveis a olho nu, diâmetro tangencial grande ( $> 200 \mu\text{m}$ ), com porosidade difusa, muito pouco abundantes ( $< 5 \text{ mm}^2$ ), agrupamento dos vasos predominantemente solitários e múltiplos radiais, de formato circular a oval e dispostos em padrão não definido. **Parênquima axial:** observado a olho nu, paratraqueal aliforme longo linear e confluyente formando faixas e em faixas estreitas ou linhas. **Parênquima radial:** foi observado sendo visível nas duas superfícies transversal e tangencial sob lente de 20x de aumento. Pouco contrastados, finos ( $100 \mu\text{m}$ ), altos ( $> 1 \text{ mm}$ ) e muito pouco frequentes ( $< 4/\text{mm}$  linear).

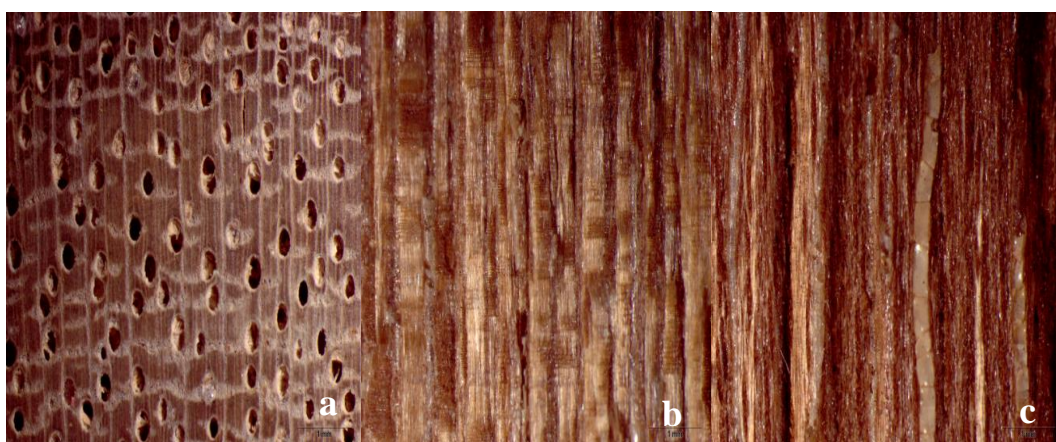


Figura 5.49 - Fotomacrografia da madeira de *Vochysia máxima* – a) plano transversal, b) radial e c) tangencial e com aumento de 20x e escala de 1mm.

Fonte: Autor

### Descrição microscópica

Figura 5.50 e 5.51: fotomicrografia dos vasos, raios e fibras

**Vasos:** solitários e múltiplos, muito pouco abundante  $3,27 \text{ mm}^2$ , grandes  $251,41 \mu\text{m}$  de diâmetro, parcialmente obstruídos por substância de cor esbranquiçada, placa de perfuração simples. **Raios:** heterocelulares formados por 1 a 2 células quadradas e eretas, unisseriados, bisseriados e trisseriados, muito pouco frequentes  $3,20 \text{ mm}$  linear, altos  $> 1 \text{ mm}$  de altura (Apêndice 1 Tabela 1). **Fibras:** libriformes e septadas de extensão curta  $1,10 \text{ mm}$  e  $24,20 \mu\text{m}$  largura, de parede delgada  $1,06 \mu\text{m}$  e lume espesso  $11,83$  (Apêndice 1 Tabela 2).

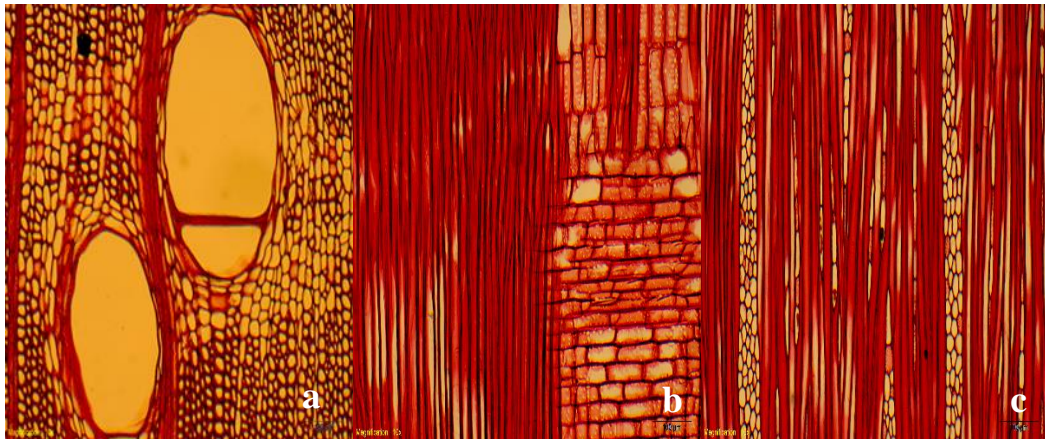


Figura 5.50 - Fotomicrografia nas seções a) transversal, b) radial e c) tangencial *V. máxima* escala 100 $\mu$ m.

Fonte: Autor

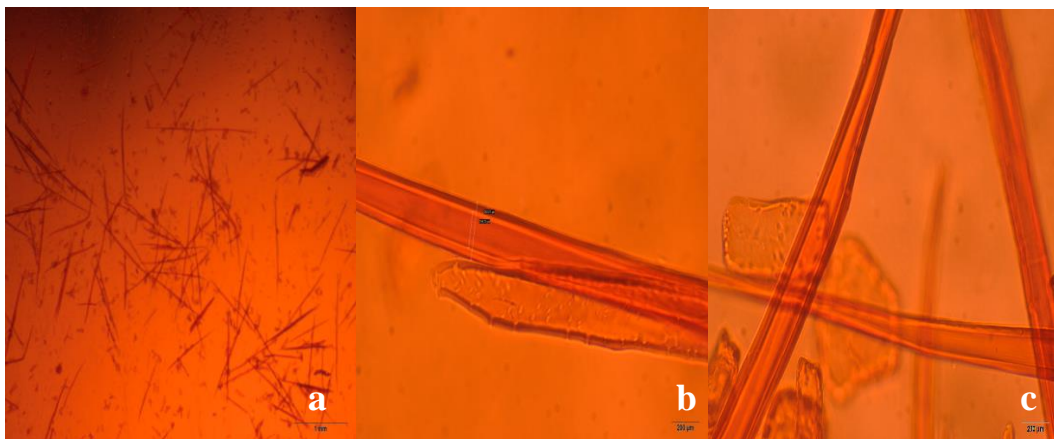


Figura 5.51 - Fotomicrografia das fibras de *V. máxima* consideradas na mensuração do a) comprimento (escala 1mm), b) largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular (escala 20 $\mu$ m) e c) descrição microscópica.

Fonte: Autor

### SUCUPIRA – (*Diploptropis purpurea*)

Nome vulgar: Sucupira, sucupira preta, sucupira parda, sucupira da mata. Nome científico: *Diploptropis purpurea* (Rich.) Amshoff; Família: Fabaceae (REFLORA, 2017).

#### Descrição geral

Cerne e albarno distintos, coloração oliva. Limites dos anéis de crescimento indistintos, com brilho nas superfícies longitudinais, cheiro e gosto imperceptível, madeira dura ao corte manual no plano transversal, grã reversa, textura grossa, figura presente e aspecto fibroso acentuado.

#### Descrição macroscópica

No plano transversal (Figura 5.52), os vasos estão presentes e são visíveis a olho nu, diâmetro tangencial grande ( $> 200 \mu\text{m}$ ), com porosidade difusa, muito pouco abundantes ( $< 5 \text{ mm}^2$ ), agrupamento dos vasos com porções solitários e múltiplos, de formato circular a oval e dispostos em padrão não definido. **Parênquima axial:** foi observado sob lente com 20x de aumento, paratraqueal vasicêntrico e aliforme losangular. **Parênquima radial:** foi observado sendo visível sob lente nas superfícies transversal e tangencial. Não contrastado, finos ( $100 \mu\text{m}$ ), baixos ( $< 1 \text{ mm}$ ) e pouco frequentes (4-12/ mm linear).

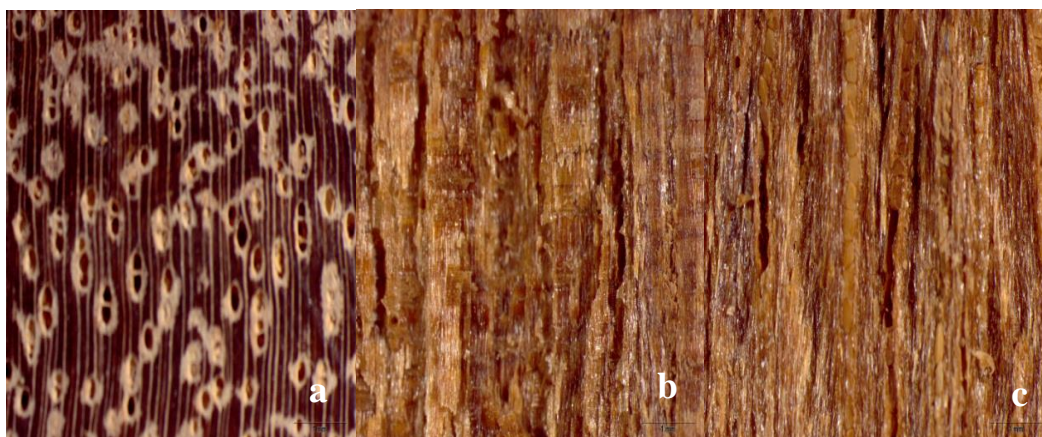


Figura 5.52 - Fotomacrografia da madeira de *Diplotropis purpurea* – a) plano transversal, b) radial e c) tangencial e com aumento de 20x e escala de 1mm.

Fonte: Autor

#### Descrição microscópica

Figura 5.53 e 5.54: fotomicrografia dos vasos, raios e fibras

**Vasos:** solitários e múltiplos, muito pouco abundante  $4,37 \text{ mm}^2$ , grandes  $249,73 \mu\text{m}$  de diâmetro, parcialmente obstruídos por substância oleosa. **Raios** heterocelulares formados por 2 fileiras de células quadradas e eretas, unisseriados e bisseriados, pouco frequentes  $5,27 \text{ mm}$  linear, baixos  $0,36 \text{ mm}$  de altura. (Apêndice 1 Tabela 1). **Fibras** libriformes de extensão curta  $1,43 \text{ mm}$  e  $24,89 \mu\text{m}$  de largura, de parede espessa  $11,12 \mu\text{m}$  e lume quase imperceptível  $2,66 \mu\text{m}$  (Apêndice 1 Tabela 2).

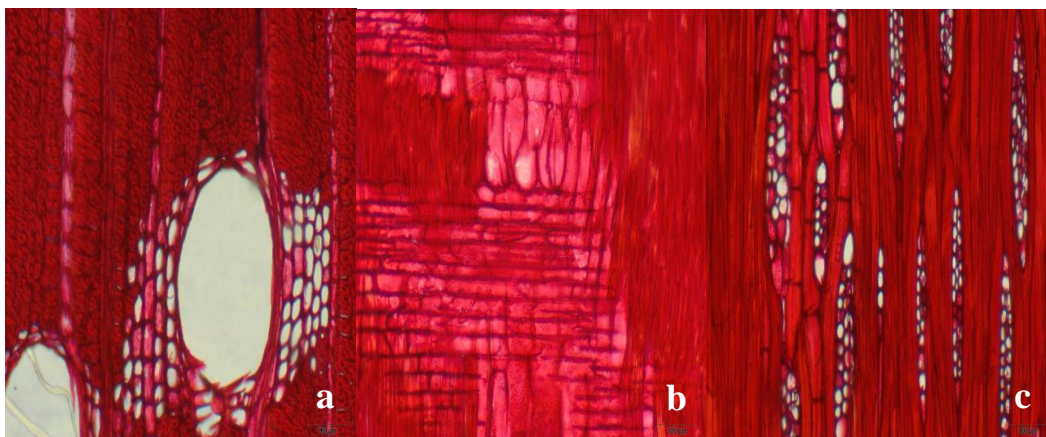


Figura 5.53 - Fotomicrografia nas seções a) transversal, b) radial e c) tangencial de *D. purpurea* escala 100µm.

Fonte: Autor

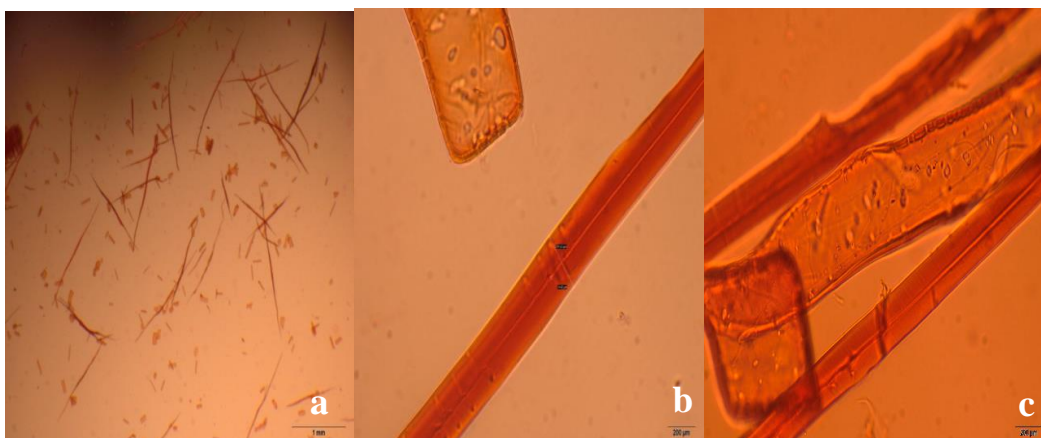


Figura 5.54 - Fotomicrografia das fibras de *D. purpurea* consideradas na mensuração do a) comprimento (escala 1mm), b) largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular (escala 200µm) e c) descrição microscópica.

Fonte: Autor

### LOURO FAIA – (*Euplassa pinnata*)

Nome vulgar: Louro faia, faia, carne de vaca, cedro bordado, carvalho brasileiro, carvalho nacional, cigarreira. Nome científico: *Euplassa pinnata* (Lam.) I.M.Johnst; Família: Proteaceae (REFLORA, 2017).

#### Descrição geral

Cerne e alburno distintos, coloração amarelo amarronzado. Limites dos anéis de crescimento indistintos, com brilho nas superfícies longitudinais, cheiro e gosto imperceptível, madeira dura ao corte manual no plano transversal, grã direita, textura grossa e figura ausente.

### Descrição macroscópica

No plano transversal (Figura 5.55), os vasos estão presentes e são visíveis a olho nu, diâmetro tangencial grande ( $> 200 \mu\text{m}$ ), com porosidade difusa, muito pouco abundantes ( $< 5 \text{ mm}^2$ ), agrupamento dos poros com porções solitários e múltiplos, de formato circular a oval e dispostos em cadeias tangenciais. **Parênquima axial:** foi observado sob lente com 20x de aumento, em faixas escalariformes. **Parênquima radial:** foi observado sendo visível a olho nu nas superfícies transversal e tangencial. Pouco contrastados, muito largos ( $> 300 \mu\text{m}$ ), altos ( $> 1 \text{ mm}$ ) e muito pouco frequentes ( $< 4/ \text{ mm linear}$ ).



Figura 5.55 - Fotomacrografia da madeira de *Euplassa pinnata* – a) plano transversal, b) radial e c) tangencial e com aumento de 20x e escala de 1mm.

Fonte: Autor

### Descrição microscópica

Figura 5.56 e 5.57: fotomicrografia dos vasos, raios e fibras

**Vasos:** solitários e múltiplos, muito pouco abundante  $2,07 \text{ mm}^2$ , grandes  $244,39 \mu\text{m}$  de diâmetro, parcialmente obstruídos por tilos, placa de perfuração simples. **Raios:** heterocelulares formados por células quadradas e eretas, multisseriados, muito pouco frequente  $1 \text{ mm linear}$ , largos  $0,48 \text{ mm}$ , altos  $> 1 \text{ mm}$  de altura (Apêndice 1 Tabela 1). **Fibras:** libriformes de extensão longa  $2,74 \text{ mm}$  e  $47,54 \mu\text{m}$  de largura, de parede espessa  $10,67 \mu\text{m}$  e lume espesso  $26,20 \mu\text{m}$  (Apêndice 1 Tabela 2).

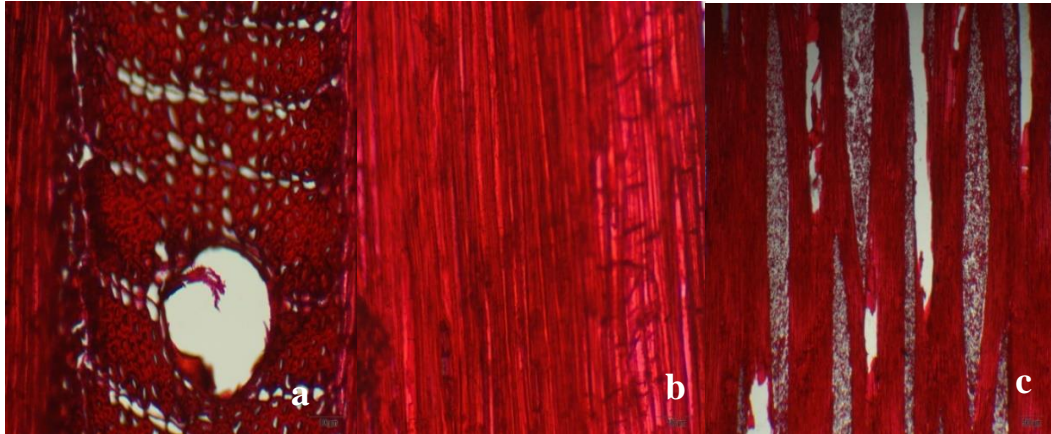


Figura 5.56 - Fotomicrografia nas seções a) transversal, b) radial e c) tangencial *E. pinnata* escala 100 $\mu$ m.

Fonte: Autor

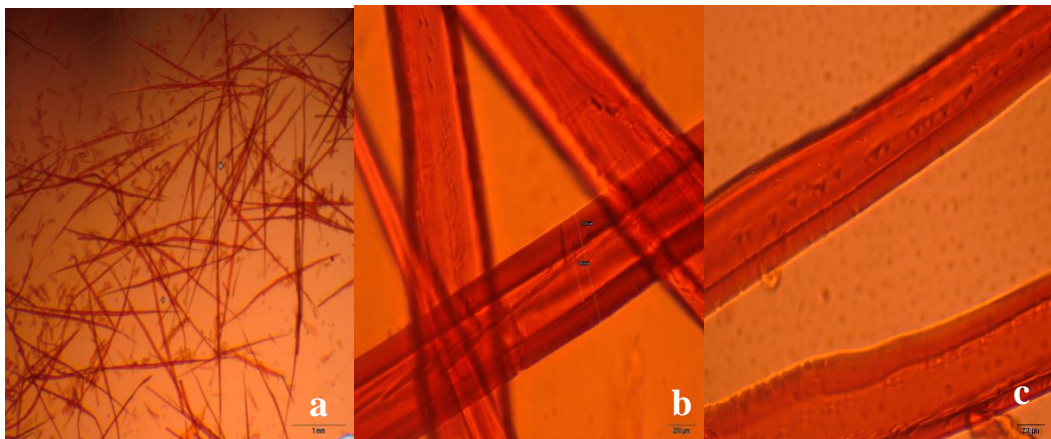


Figura 5.57 - Fotomicrografia das fibras de *E. pinnata* consideradas na mensuração do a) comprimento (escala 1mm), b) largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular (escala 20 $\mu$ m) e c) descrição microscópica.

Fonte: Autor

#### EMBIRA DE SAPO – (*Lonchocarpus cultratus*)

Nome vulgar: Embira de sapo, embira branca, embira de carrapato. Nome científico: *Lonchocarpus cultratus* (Vell.) A.M.G.Azevedo & H.C.Lima; Família: Fabaceae (REFLORA, 2017).

#### Descrição geral

Cerne e albarno indistintos, coloração branco acinzentado. Limites dos anéis de crescimento indistintos, com brilho nas superfícies longitudinais, cheiro e gosto imperceptível, madeira macia ao corte manual no plano transversal, grã direita, textura média e figura ausente.

### Descrição macroscópica

No plano transversal (Figura 5.58), os vasos estão presentes e são visíveis a olho nu, diâmetro tangencial grande ( $> 200 \mu\text{m}$ ), com porosidade difusa, muito pouco abundantes ( $< 5 \text{ mm}^2$ ), agrupamento dos vasos com porções solitários e múltiplos, de formato circular a oval e dispostos em cadeias radiais. **Parênquima axial:** observado sob lente com 20x de aumento, paratraqueal aliforme losangular e confluyente formando faixas e também em faixas estreitas ou linhas. **Parênquima radial:** foi observado sendo visível sob lente com 20x de aumento na superfície transversal e tangencial. Pouco contrastados, finos ( $100 \mu\text{m}$ ), baixos ( $< 1 \text{ mm}$ ) e pouco frequentes (4-12/mm linear), estratificação presente.

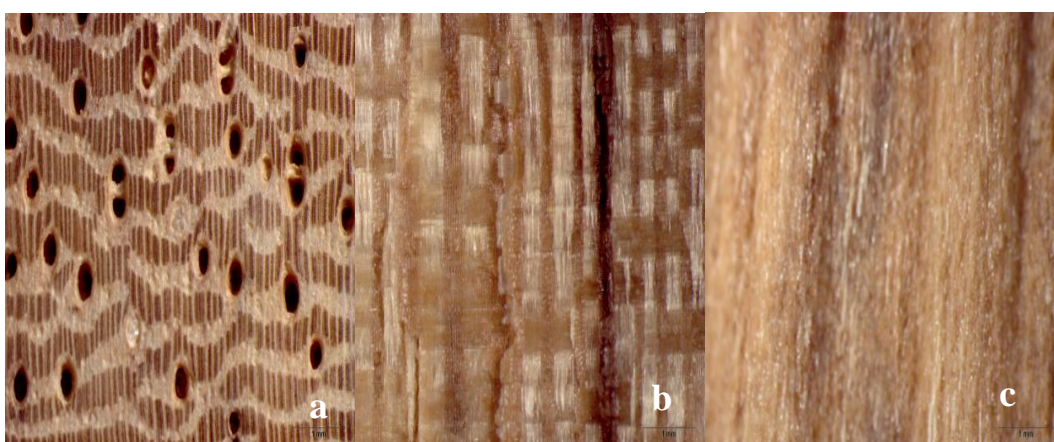


Figura 5.58 - Fotomacrografia da madeira de *Lonchocarpus cultratus* – a) plano transversal, b) radial e c) tangencial e com aumento de 20x e escala de 1mm.

Fonte: Autor

### Descrição microscópica

Figura 5.59 e 5.60: fotomicrografia dos vasos, raios e fibras

**Vasos:** solitários e múltiplos em cadeias radiais, muito pouco abundante  $2,33 \text{ mm}^2$ , grandes  $292,76 \mu\text{m}$  de diâmetro, parcialmente obstruídos por substância de cor esbranquiçada, placa de perfuração simples. **Raios:** homocelulares formados por células procumbentes, unisseriados, bisseriados, pouco frequentes  $6,97 \text{ mm}$  linear, baixos  $0,40 \text{ mm}$  de altura (Apêndice 1 Tabela 1). **Fibras:** libriformes de extensão longa  $1,85 \text{ mm}$  e  $37,84 \mu\text{m}$  de largura, de parede espessa  $10,29 \mu\text{m}$  e lume espesso  $17,25 \mu\text{m}$  (Apêndice 1 Tabela 2).

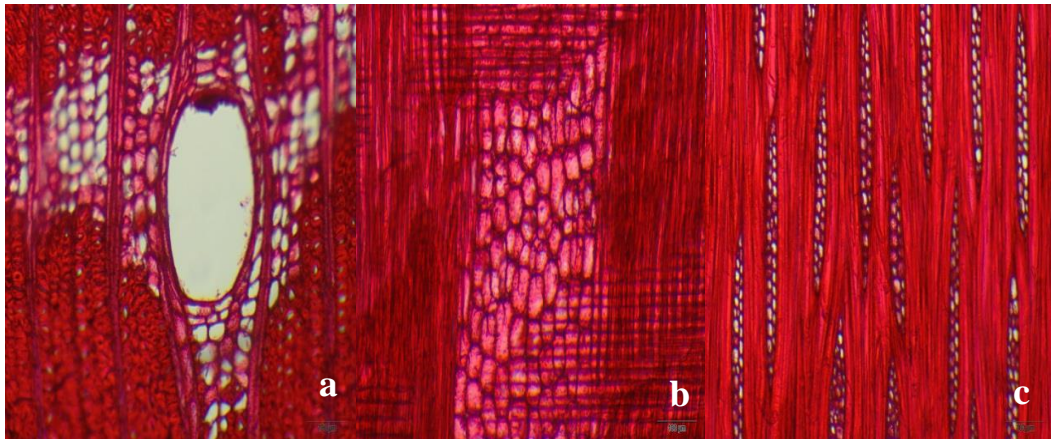


Figura 5.59 - Fotomicrografia nas seções a) transversal, b) radial e c) tangencial *L. cultratus* escala 100 $\mu$ m.

Fonte: Autor

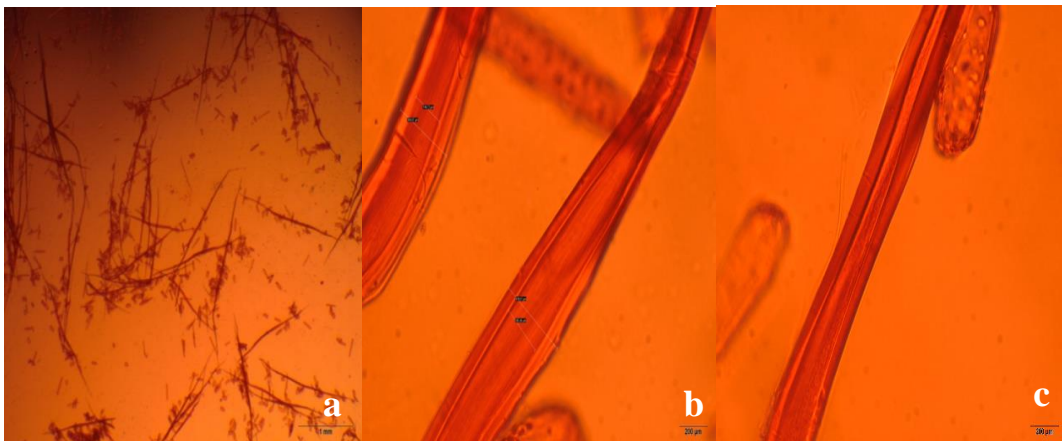


Figura 5.60 - Fotomicrografia das fibras de *L. cultratus* consideradas na mensuração do a) comprimento (escala 1mm), b) largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular (escala 20 $\mu$ m) e c) descrição microscópica.

Fonte: Autor

Esses resultados estão de acordo com os encontrados na literatura para a maioria das espécies havendo algumas diferenças relacionadas à coloração (CIELAB 1976), caracteres gerais, distribuição de vasos, tipos de parênquima, tamanho e frequência de vasos, tamanho e frequências de raios (MAINIERI et al., 1983; IBDF, 1981; IBDF, 1988; FEDALTO et al., 1989; MAINIERI e CHIMELO, 1989; CORADIN et al., 1991; CORADIN e MUNIZ, 1992, CAMARGOS, 1996; MARQUES, 1997; SOUZA et al., 1997; CAMARGOS et al., 2001; FERREIRA et al., 2004; ZENID e CECCANTINI, 2007; CORADIN et al., 2010; TREVIZOR, 2011; SANTINI JÚNIOR, 2013; SOUZA e CAMARGOS, 2014), além das dimensões das fibras com poucos trabalhos relacionados (FEDALTO et al., 1989; CALONEGO et al., 2005; MARQUES, 2008; KLITZKE et al., 2008; GATTO et al., 2010; POUBEL et al., 2011; GONÇALEZ et al., 2014a; VIRE, 2016).



## 5.2 - COLORIMETRIA

A cor da madeira é um elemento indispensável na identificação e uso das espécies e pode ser caracterizada qualitativa e quantitativamente por meio dos parâmetros colorimétricos L\*, a\*, b\*, C e h\* de acordo com o sistema CIELAB 1976. Corroborando com este estudo, Camargos e Gonzalez (2001), em trabalho realizado com 350 espécies nativas do Brasil obtiveram valores médios dos parâmetros colorimétricos L\*, a\*, b\*, C e h\* respectivamente de 56,79; 10,44; 20,54; 23,30 e 62,18. Os valores médios dos parâmetros colorimétricos e sua classificação são apresentados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Valores médios dos parâmetros colorimétricos e classificação da cor das espécies em estudo.

<b>Espécies</b>	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>	<b>C</b>	<b>h*</b>	<b>Classificação da cor</b>
<i>Qualea brevipedicellata</i>	65,03	10,69	25,46	27,65	67,32	Marrom oliva
<i>Goupia glabra</i>	59,05	9,28	27,07	28,68	71,12	Oliva amarelado
<i>Mezilaurus itauba</i>	52,03	8,70	27,19	28,61	71,93	Oliva amarelado
<i>Erisma uncinatum</i>	55,05	11,90	22,29	25,34	62,03	Rosa acinzentado
<i>Hymenolobium petraeum</i>	62,45	13,84	26,18	29,64	62,17	Rosa
<i>Manilkara huberi</i>	47,45	14,69	19,85	24,72	53,50	Marrom avermelhado
<i>Apuleia leiocarpa</i>	61,92	11,34	30,96	33,00	69,83	Marrom oliva
<i>Dipteryx odorata</i>	51,58	12,10	23,24	26,22	62,42	Marrom claro
<i>Simarouba amara</i>	81,68	4,12	24,37	24,72	80,43	Branco acinzentado
<i>Cedrelinga cateniformis</i>	57,96	10,58	23,31	25,65	65,47	Marrom claro
<i>Couratari oblongifolia</i>	74,17	4,23	22,50	22,91	79,44	Branco acinzentado
<i>Hymenaea courbaril</i>	51,74	14,03	24,37	28,16	59,98	Amarelo amarronzado
<i>Dinizia excelsa</i>	50,40	16,06	24,47	29,29	56,75	Amarelo amarronzado
<i>Handroanthus serratifolius</i>	49,08	9,42	25,50	27,26	69,45	Marrom oliva
<i>Pouteria egregia</i>	59,33	14,53	26,40	30,14	61,18	Rosa
<i>Tetragastris altissima</i>	53,81	16,94	27,42	32,23	58,30	Amarelo amarronzado
<i>Vochysia máxima</i>	57,28	18,34	25,70	31,59	54,52	Rosa
<i>Diploptropis purpurea</i>	45,61	10,05	21,85	24,07	65,26	Oliva
<i>Euplassa pinnata</i>	56,14	15,26	24,20	28,62	57,79	Amarelo amarronzado
<i>Lonchocarpus cultratus</i>	65,23	4,89	21,82	22,40	77,86	Branco acinzentado

Classificação da cor de acordo com Tabela de Cores de Madeira proposta por Camargos e Gonzalez (2001).

As espécies florestais avaliadas neste estudo apresentaram valores de luminosidade entre 45,61 e 81,68, coordenada cromática a\* entre 4,12 e 18,34 e b\* entre 19,85 e 30,96, saturação da cor entre 22,4 e 33,00 e ângulo de tinta entre 53,50 e 80,43. De acordo com Camargos e

Gonçalez (2001), espécies que apresentam valores do parâmetro L\* (claridade) maior que 56,79 são consideradas madeiras claras e espécies com valor do parâmetro L\* (claridade) abaixo de 56,79 são consideradas madeiras escuras. Desta forma, de acordo com a Tabela 5.1, a cor da madeira das espécies *Q. brevipedicellata*, *G. glabra*, *H. petraeum*, *A. leiocarpa*, *S. amara*, *C. cateniformis*, *C. oblongifolia*, *P. egregia*, *V. máxima* e *L. cultratus* foram classificadas como claras e as espécies *M. itauba*, *E. uncinatum*, *M. huberi*, *D. odorata*, *H. courbaril*, *D. excelsa*, *H. serratifolius*, *T. altissima*, *D. purpurea* e *Euplassa pinnata* foram classificadas como escuras.

Como pode ser observado na Tabela 5.1 as espécies *H. courbaril* – Jatobá caracterizada pelos parâmetros colorimétricos (L\*=51,74; a\*=14,03; b\*24,37; C=28,16; h\*=59,98), *D. excelsa* – Angelim vermelho (L\*=50,40; a\*=16,06; b\*24,47; C=29,29; h\*=56,75), *T. altissima* – Muiracatiara (L\*=53,81; a\*=16,94; b\*27,42; C=32,23; h\*=58,30) e *E. pinnata* – Louro faia caracterizada por (L\*=56,14; a\*=15,26; b\*24,20; C=28,62; h\*=57,79) apresentaram cor classificada como Amarelo amarronzado. Observa-se que ambas coordenadas (a\* e b\*) atuam na formação da cor destas madeiras, entretanto, devido a maior influência da coordenada b\* (pigmento amarelo) que tem seu valor maior que a coordenada a\*, se encaixam no 1º quadrante do sistema Cielab 1976 e mais próximo do eixo amarelo. Os valores elevados das coordenadas cromáticas a\* e principalmente b\*, mostram o valor de C (saturação da cor) elevado, resultando na cor marcante destas espécies, amarelo-amarronzado. O ângulo de tinta (h\*) próximo de 60 também mostra a influência das duas coordenadas na formação da cor dessas madeiras.

As espécies *S. amara* – Marupá (L\*=81,68; a\*=4,12; b\*24,37; C=24,72; h\*=80,43), *C. oblongifolia* – Tauari (L\*=74,17; a\*=4,23; b\*22,50; C=22,91; h\*=79,44) e *L. cultratus* – Embira de sapo (L\*=65,23; a\*=4,89; b\*21,82; C=22,40; h\*=77,86) tem cor classificada como Branco acinzentado. A coloração destas espécies também tem grande influência da coordenada b\* (valores elevados). O ângulo de tinta (h\*) mostra valores elevados, colaborando para explicar as cores mais esbranquiçadas das madeiras deste grupo.

As espécies *H. petraeum* – Angelim pedra (L\*=62,45; a\*=13,84; b\*26,18; C=29,64; h\*=62,17), *P. egregia* – Abiurana (L\*=59,33; a\*=14,53; b\*26,40; C=30,14; h\*=61,18) e *V. máxima* – Cambará rosinha (L\*=57,28; a\*=18,34; b\*25,70; C=31,59; h\*=54,52) foram classificadas como de coloração Rosa. A luminosidade (L\*), acima de 56 destas espécies

mostra madeiras claras. A coloração destas espécies foi influenciada por valores elevados tanto da coordenada  $a^*$  quanto da coordenada  $b^*$ . Esta composição entre pigmentações amarela e vermelha originou a coloração rosa para estas madeiras. A saturação da cor das três espécies foi alta, porém a tonalidade ( $h^*$ ) tendeu para a parte mediana no primeiro quadrante do sistema CIELAB, conferindo a cor rosada das madeiras.

As espécies *Q. brevipedicellata* – Cambará ( $L^*=65,03$ ;  $a^*=10,69$ ;  $b^*25,46$ ;  $C=27,65$ ;  $h^*=67,32$ ), *A. leiocarpa* – Garapeira ( $L^*=61,92$ ;  $a^*=11,34$ ;  $b^*30,96$ ;  $C=33,00$ ;  $h^*=69,83$ ) e *H. serratifolius* – Ipê ( $L^*=49,08$ ;  $a^*=9,42$ ;  $b^*25,50$ ;  $C=27,26$ ;  $h^*=69,45$ ) foram classificadas Marrom oliva. As espécies *G. glabra* – Cupiúba ( $L^*=59,05$ ;  $a^*=9,28$ ;  $b^*27,07$ ;  $C=28,68$ ;  $h^*=71,12$ ) e *M. itauba* – Itaúba ( $L^*=52,03$ ;  $a^*=8,70$ ;  $b^*27,19$ ;  $C=28,61$ ;  $h^*=71,93$ ) foram classificadas Oliva amarelado. As espécies *D. odorata* – Cumbarú ( $L^*=51,58$ ;  $a^*=12,10$ ;  $b^*23,31$ ;  $C=26,22$ ;  $h^*=62,42$ ) e *C. cateniformis* – Cedrorana ( $L^*=57,96$ ;  $a^*=10,58$ ;  $b^*23,31$ ;  $C=25,65$ ;  $h^*=65,47$ ) foram classificadas como Marrom claro. As colorações de todas as madeiras destas espécies tiveram influências marcantes da coordenada  $b^*$  (pigmento amarelo) na formação de suas cores. No entanto, a definição da cor das espécies pertencentes aos três grupos (marrom oliva, oliva amarelado e marrom claro) é definida pela maior ou menor participação da coordenada  $a^*$  (coloração vermelha). A saturação da cor ( $C$ ) e o ângulo de tinta ( $h^*$ ) foram elevadas para todas as espécies, confirmando a importância das duas coordenadas na formação da cor das espécies. Para a saturação, a coordenada  $a^*$  exerce maior influência, enquanto para o ângulo de tinta ( $h^*$ ), a coordenada  $b^*$ , leva a confirmação da cor de cada espécie.

As espécies *E. uncinatum* – Cedrinho ( $L^*=55,05$ ;  $a^*=11,90$ ;  $b^*22,29$ ;  $C=25,34$ ;  $h^*=62,03$ ) foi classificado como Rosa acinzentado, *M. huberi* – Maçaranduba ( $L^*=47,45$ ;  $a^*=14,69$ ;  $b^*19,85$ ;  $C=24,72$ ;  $h^*=53,50$ ) como Marrom avermelhado e *D. purpurea* – Sucupira ( $L^*=45,61$ ;  $a^*=10,05$ ;  $b^*21,85$ ;  $C=24,07$ ;  $h^*=65,26$ ) classificada como cor Oliva. As coordenadas  $a^*$  e  $b^*$  mostram participações diferenciadas para cada uma destas três espécies. Tanto para o cedrinho como, principalmente para a maçaranduba, a coordenada  $a^*$  (vermelho) tem participação marcante na formação da cor destas espécies. Já para a sucupira, devido o valor de  $a^*$  diminuir, quando comparado com as outras duas espécies, faz com que a coordenada  $b^*$  (amarelo) atue decisivamente na cor final da espécie. A variável  $h^*$  (ângulo de tinta) mostra o posicionamento das três espécies junto aos eixos vermelho e amarelo, corroborando para a definição da cor destas madeiras.

Variações na cor da madeira de uma mesma espécie podem ocorrer, pois segundo Gonçalves (1993) diversos fatores influenciam a cor, tais como caracteres anatômicos, constituintes químicos, local de retirada da amostra na árvore, idade, altura, diâmetro, fatores ambientais e fatores genéticos de cada espécie.

Silva et al. (2007) avaliou o processo de fotodecomposição da madeira de cinco espécies tropicais, ipê-roxo (*Tabebuia imeginosa*), itaúba (*Mezilaurus itauba*), maçaranduba (*Manilkara huberi*), tatajuba (*Bagassa guianensis*) e tauari (*Couratari* sp.). Os parâmetros da cor natural da madeira foram: Ipê-roxo  $L^*=34,67$   $a^*=6,71$  e  $b^*=9,15$  com classificação da cor oliva-amarronzado-escuro; Itaúba  $L^*=43,22$   $a^*=6,74$  e  $b^*=16,88$ , com coloração Marrom-amarelado; Maçaranduba  $L^*=35,74$   $a^*=8,64$  e  $b^*=7,27$ , com classificação Marrom-avermelhado-escuro; Tatajuba  $L^*=47,09$   $a^*=6,76$  e  $b^*=21,27$ , de cor Marrom-dourado; Tauari  $L^*=50,43$   $a^*=5,72$  e  $b^*=15,65$  como Marrom-amarelado-claro. Os valores encontrados no presente estudo são ligeiramente superiores aos acima apresentados. Vários fatores podem ter ocasionado esta diferença, como a forma dos corpos de prova (disco de madeira), idade das espécies, local de retirada do corpo de prova (base do tronco), procedência do material analisado, aparelho utilizado na coleta dos espectros (Datacolor International Microflash 200D) entre outros. No entanto, a caracterização de uma forma geral permanece válida, uma vez que a cor final da madeira teve pouca alteração.

Gonçalves et al. (2010) estudando o efeito da radiação ultravioleta na cor da madeira de freijó (*Cordia goeldiana* Huber), espécie amazônica, obteve para as amostras padrão (testemunha) valores próximos ao desta pesquisa.

Stangerlin (2012) avaliou a alteração dos parâmetros colorimétricos da madeira de *Dipteryx odorata* e *Simarouba amara* no tempo zero e submetidas ao ataque de fungos apodrecedores, encontrando valores relativamente próximos ao deste trabalho para as espécies não atacadas por fungos.

Romagnoli et al. (2013) analisando a madeira de *Tabebuia serratifolia* (*Handroanthus serratifolius*) quanto a sua coloração ( $L^* = 49,37$ ,  $a^* = 9,14$ ,  $b^* = 23,26$  e  $C = 24,90$ ) encontraram para as amostras padrão valores similares à esta pesquisa. No referido estudo, os altos níveis do parâmetro  $b^*$  foram associados aos teores de determinados compostos

extraíveis da madeira, mais especificamente a algumas naftoquinonas, como o lapachol e a desidro- $\alpha$ -lapachona.

Barros e colaboradores (2014), realizando pesquisa sobre a caracterização colorimétrica de três espécies amazônicas, encontraram respectivamente para a madeira de breu vermelho (*Protium puncticulatum* J.F. Macbr.), tauari vermelho (*Cariniana micrantha* Ducke) e pequiariana (*Caryocar glabrum*), os seguintes valores para os parâmetros colorimétricos:  $L^*=55,72$ ,  $a^*=7,95$ ,  $b^*=15,11$ ,  $C=17,31$ ,  $h^*=60,50$  e classificação da cor Oliva ou Rosa acinzentado;  $L^*=63,04$ ,  $a^*=7,66$ ,  $b^*=18,43$ ,  $C=20,19$ ,  $h^*=65,54$  e classificação da cor Cinza rosado; e  $L^*=64,67$ ,  $a^*=7,58$ ,  $b^*=18,87$ ,  $C=20,57$ ,  $h^*=66,52$  e classificação da cor Cinza rosado ou Rosa acinzentado. Como foi possível notar, as três espécies apresentam a coloração das madeiras muito influenciada pela coordenada  $b^*$  (amarelo), mesmo resultado encontrado para as espécies deste estudo.

Gonçalez et al. (2014b) avaliaram o processo de secagem na cor da madeira de marupá (*Simarouba amara*) encontrando os valores para a testemunha de  $L^*=80,24$ ,  $a^*=3,64$ ,  $b^*=21,26$ ,  $C=21,57$ ,  $h^*=80,32$  e a classificação da cor branco acinzentada, mesma classificação deste trabalho. Teles (2014) realizou ensaios não destrutivos para avaliar o desempenho de madeiras amazônicas tratadas quimicamente e encontrou valores médios dos parâmetros colorimétricos na testemunha para as madeiras de Marupá (*Simarouba amara*)  $L^*=84,2$ ,  $a^*=2,8$ ,  $b^*=23,3$ ,  $C=23,4$ ,  $h^*=83,1$ ; Tauari (*Couratari* sp)  $L^*=72,6$ ,  $a^*=5,6$ ,  $b^*=25,4$ ,  $C=26,0$ ;  $h^*=77,6$ ; e Cumarú (*Dipteryx odorata*)  $L^*=54,5$ ,  $a^*=10,8$ ,  $b^*=24,3$ ,  $C=26,6$ ,  $h^*=66,1$ , próximos aos relatados neste estudo. Freitas et al. (2016) verificaram a influência do tratamento termomecânico na cor da madeira de Marupá (*Simarouba amara*) encontrando valores médios dos parâmetros colorimétricos na testemunha de  $L^*=85,07$ ,  $a^*=2,00$ ,  $b^*=21,69$ ,  $C=21,79$ ,  $h^*=84,70$  e classificação da cor Branco amarelado, valores esses também semelhantes aos obtidos em nossa pesquisa.

De Paula (2016) estudando o efeito do tratamento térmico em propriedades tecnológicas das madeiras de angelim vermelho (*Dinizia excelsa* Ducke) encontrou os valores dos parâmetros colorimétricos para a testemunha de  $L^*=50,75$ ,  $a^*=15,44$ ,  $b^*=22,99$ ,  $C=27,70$  e  $h^*=56,10$ , sendo classificada sua cor como Marrom avermelhado. De Paula et al. (2016a) utilizaram métodos não destrutivos para caracterização simplificada da madeira de cumaru (*Dipteryx odorata* Willd) e encontraram valores para a testemunha de  $L^*=50,87$ ,  $a^*=12,71$ ,  $b^*=24,66$ ,

C=25,75 e h\*=62,75, com classificação da cor Amarela amarronzada, sendo esses valores próximos aos da pesquisa (L\*=51,58, a\*=12,10, b\*23,31, C=26,22 e h\*=62,42).

Mendes et al. (2016) pesquisaram o efeito do intemperismo artificial na cor de lâminas de cumaru (*Dipteryx odorata*) e pau marfim (*Balfourodendron riedelianum*) e encontraram para a testemunha de *Dipteryx odorata* (L\*=49,09, a\*=10,04, b\*23,66, C=25,70 e h\*=67,00) e para testemunha de *Balfourodendron riedelianum* (L\*=72,28, a\*=5,80, b\*=30,37, C=30,92 e h\*=79,21), valores muito próximos aos do presente estudo.

Kerber et al. (2016) estudaram o efeito do intemperismo natural na cor da madeira de *Apuleia leiocarpa*, *Erismia uncinatum* e *Parkia pendula*. Encontraram para a testemunha de *Apuleia leiocarpa* L\*=67,94, a\*=9,82, b\*29,40, C=31,01 e h\*=71,50 e para *Erismia uncinatum* L\*=54,26, a\*=13,82, b\*22,33, C=26,22 e h\*=58,25. Queiroz et al. (2016) estudaram o efeito do intemperismo artificial na cor da madeira de *Tectona grandis* encontrando valores para a testemunha de L\*=51,22, a\*=11,14, b\*25,87, C=28,17, h\*=65,88. Também nestes casos, os valores dos dois estudos foram próximos ao da presente pesquisa.

Os valores registrados para os parâmetros colorimétricos das madeiras em estudo para as faces radial e tangencial são apresentados na Tabela 5.2. Para a seção radial o valor médio dos parâmetros foram L\*= 58,43, a\*=11,57, b\*=25,20, C=28,02 e h\*=65,69 e para a seção tangencial L\*=57,25, a\*=11,52, b\*=24,21, C=27,06 e h\*=64,98. Como é possível notar, os valores médios da seção radial em todos os parâmetros colorimétricos foram superiores aos da seção tangencial. Segundo Burger e Richter (1991), a face longitudinal radial é mais reluzente, devido ao efeito das faixas horizontais dos raios. Nishino et al. (1998) afirmam que as diferenças de cor entre as faces radial e tangencial são atribuídas às características anatômicas e componentes químicos das madeiras tropicais. No entanto, observa-se que os valores médios dos parâmetros colorimétricos das faces estão próximos, sugerindo que as cores destas faces (tangencial e radial) das espécies estudadas não devem apresentar diferenças significativas.

Tabela 5.2 - Valores médios dos parâmetros colorimétricos para as faces radial (RD) e tangencial (TG) das espécies em estudo.

<b>ESPÉCIE</b>	Face	L*	a*	b*	C	h*
<i>Qualea brevipedicellata</i> (Cambará)	RD	66,12a	10,28a	25,50a	27,53a	68,12a
	TG	63,94a	11,09a	25,41a	27,76a	66,51a
<i>Goupia glabra</i> (Cupiúba)	RD	59,06a	9,56a	28,01a	29,69a	71,21a
	TG	59,03a	9,00a	26,13b	27,67b	71,02a
<i>Mezilaurus itauba</i> (Itaúba)	RD	55,35a	8,42a	30,27a	31,45a	74,36a
	TG	48,72b	8,99a	24,11b	25,78b	69,50b
<i>Erisma uncinatum</i> (Cedrinho)	RD	56,03a	11,40a	22,48a	25,27a	63,24a
	TG	54,06a	12,40a	22,10a	25,42a	60,82a
<i>Hymenolobium petraeum</i> (Angelim pedra)	RD	63,71a	13,80a	26,68a	30,05a	62,70a
	TG	61,19b	13,88a	25,68a	29,22a	60,23b
<i>Manilkara huberi</i> (Maçaranduba)	RD	47,66a	15,19a	20,03a	25,16a	53,77a
	TG	47,23a	14,19b	19,67a	24,28a	54,23a
<i>Apuleia leiocarpa</i> (Garapeira)	RD	63,62a	11,49a	32,69a	34,68a	70,60a
	TG	60,22b	11,19a	29,24b	31,31b	69,05b
<i>Dipteryx odorata</i> (Cumbarú)	RD	52,41a	12,50a	24,69a	27,70a	63,03a
	TG	50,76a	11,69b	21,80b	24,75b	61,80a
<i>Simarouba amara</i> (Marupá)	RD	81,81a	4,01a	24,12a	24,46a	80,56a
	TG	81,54a	4,22a	24,62a	24,99a	80,29a
<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Cedrorana)	RD	58,37a	10,84a	23,98a	26,37a	65,51a
	TG	57,54a	10,31a	22,63a	24,94a	65,44a
<i>Couratari oblongifolia</i> (Tauari)	RD	75,09a	3,99a	22,69a	23,04a	80,07a
	TG	73,24b	4,46a	22,32a	22,77a	78,81b
<i>Hymenaea courbaril</i> (Jatobá)	RD	52,56a	14,21a	24,59a	28,43a	59,90a
	TG	50,92a	13,86a	24,15a	27,88a	60,05a
<i>Dinizia excelsa</i> (Angelim vermelho)	RD	50,25a	16,42a	25,15a	30,05a	56,88a
	TG	50,54a	15,69b	23,78b	28,52b	56,63a
<i>Handroanthus serratifolius</i> (Ipê)	RD	49,55a	9,08a	25,80a	27,45a	70,19a
	TG	48,60a	9,77a	25,20a	27,08a	68,71a
<i>Pouteria egregia</i> (Abiurana)	RD	59,13a	14,87a	26,92a	30,76a	61,09a
	TG	59,51a	14,19a	25,88b	29,52b	61,27a
<i>Tetragastris altissima</i> (Muiracatiara)	RD	54,42a	17,37a	28,11a	33,04a	58,29a
	TG	53,17a	16,51b	26,73b	31,42b	58,31a
<i>Vochysia máxima</i> (Cambará rosinha)	RD	56,94a	18,14a	25,47a	31,28a	54,58a
	TG	57,61a	18,55a	25,93a	31,90a	54,46a
<i>Diploptropis purpurea</i> (Sucupira)	RD	43,82b	10,16a	20,97b	23,32b	64,10b
	TG	47,39a	9,93a	22,73a	24,81a	66,41a
<i>Euplassa pinnata</i> (Louro faia)	RD	56,71a	15,19a	24,30a	28,66a	58,01a
	TG	55,57a	15,33a	24,10a	28,57a	57,57a
<i>Lonchocarpus cultratus</i> (Embira de sapo)	RD	66,09a	4,53a	21,56a	22,06a	78,61a
	TG	64,36a	5,25a	22,07a	22,74a	77,10a

Médias seguidas pela mesma letra, dentro da mesma coluna para uma espécie, não diferem estatisticamente ao nível de 1% de significância pelo teste de Tukey.

Ao analisar a Tabela 5.2 constata-se que de fato, das vinte espécies estudadas, quinze não apresentam diferenças estatísticas significativas da claridade ( $L^*$ ) entre as faces radial e tangencial. Isso significa que as cores das faces dessas espécies são similares, não havendo diferença de cores quando o desdobro destas madeiras ocorrerem nos sentidos radial ou tangencial. Em algumas dessas quinze espécies pode ter havido diferenças estatísticas entre as coordenadas cromáticas ( $a^*$  ou  $b^*$ ) comparando as faces, no entanto há uma compensação no quantitativo da pigmentação vermelha ( $a^*$ ) ou amarela ( $b^*$ ), fazendo que não ocorra interferência na claridade ( $L^*$ ) da madeira. Verifica-se também que para essas espécies, o ângulo de tinta ( $h^*$ ) também não apresentou diferenças estatísticas, corroborando para explicar a ausência de variação da claridade dessas madeiras. Autran e Gonzalez (2006) avaliando a espécie *Hevea brasiliensis* (seringueira), Silva et al. (2015) estudando *Cabralea canjerana* (canjerana), *Cedrela fissilis* (cedro), *Balfourodendron riedelianum* (guatambu) e *Apuleia leiocarpa* (grapia) e De Paula et al. (2016b) pesquisando *Lecythis Pisonis* Cambess (sapucaia) também não encontraram diferenças significativas entre as faces radial e tangencial das espécies.

As cinco espécies que apresentaram diferenças estatísticas significativas da claridade ( $L^*$ ) entre as suas faces foram *M. itauba* (Itaúba), *H. petraeum* (Angelim pedra), *A. leiocarpa* (Grapeira), *C. oblongifolia* (Tauari) e *D. purpurea* (Sucupira). Para essas espécies, deve-se tomar os devidos cuidados no desdobro das mesmas, pois dependendo do sentido (radial ou tangencial) haverá diferença de coloração de suas madeiras. Entre essas cinco espécies, somente a *D. purpurea* (Sucupira) apresentou a face tangencial mais clara ( $L^*$ ) que a radial, para as demais a face radial é mais clara ( $L^*$ ) que a tangencial. Verificou-se que para esta espécie (Sucupira), a coordenada  $a^*$  (vermelho) diminui na face tangencial e de forma significativa estatisticamente e a coordenada  $b^*$  (amarelo) aumentou, dando uma maior claridade à face tangencial. A variável  $h^*$  de forma significativa estatisticamente confirma esta mudança de coloração entre as faces e a maior claridade da face tangencial.

D' Ambros (2011) em sua pesquisa avaliou os parâmetros colorimétricos de cinco espécies amazônicas, encontrando diferenças significativas entre as faces radial e tangencial. Os parâmetros colorimétricos que tiveram diferença estatística significativa foram:  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , C e  $h^*$  para a espécie *Hymenolobium petraeum* – angelim pedra;  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , C e  $h^*$  para *Dinizia excelsa* - angelim vermelho;  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  e C para *Cedrela odorata* – cedro;  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , C e  $h^*$  para *Ocotea sp* – louro;  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  *Hymenaea Courbaril* – jatobá. Ressaltando

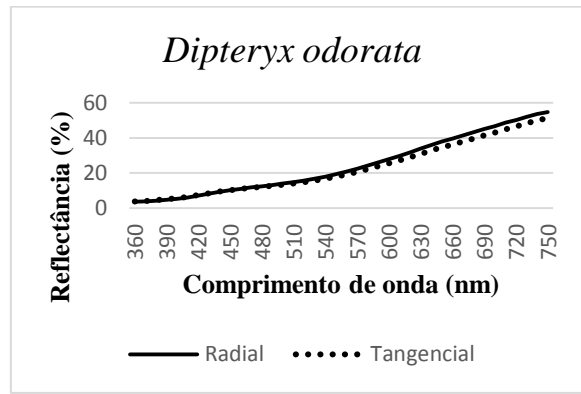
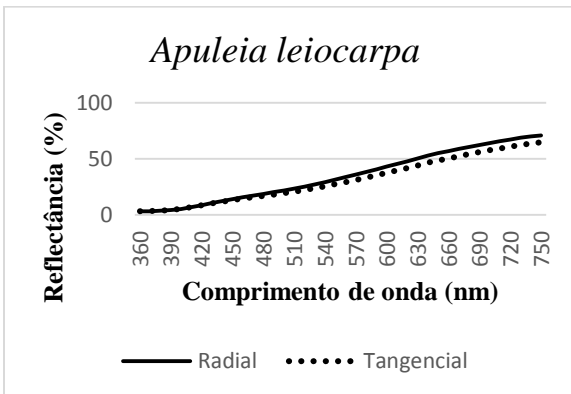
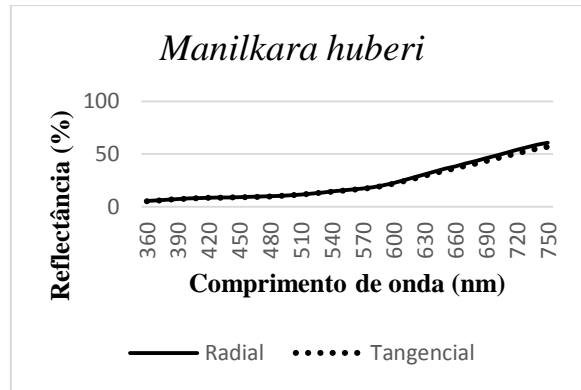
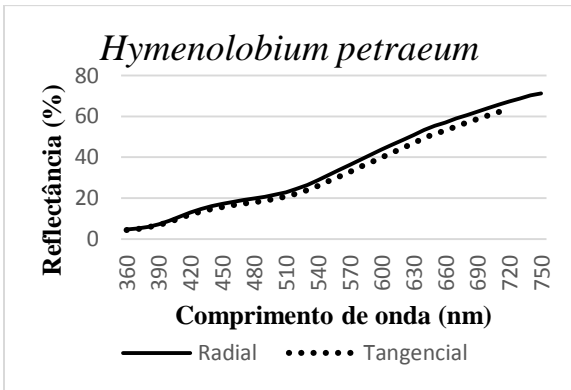
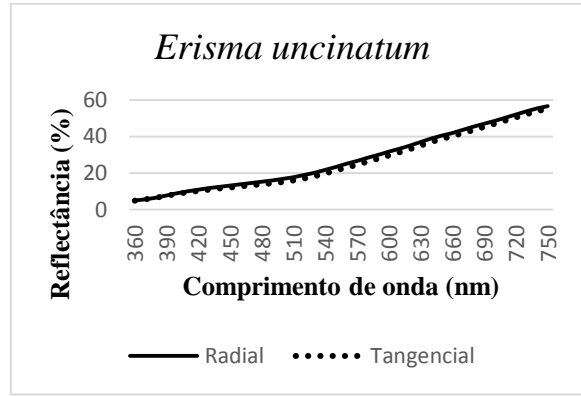
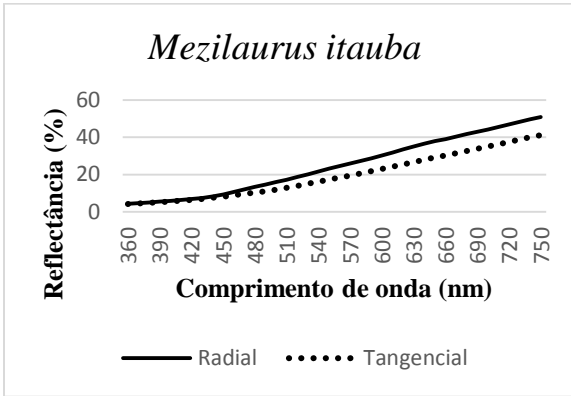
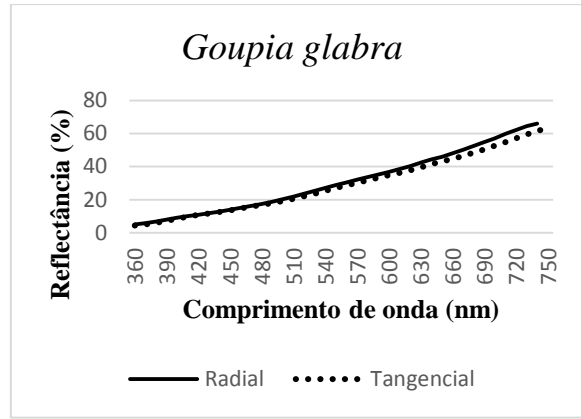
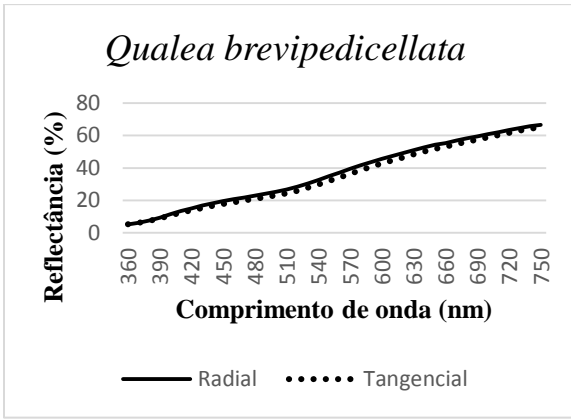


ainda que os valores médios de todos os parâmetros foram superiores na face radial em relação à face tangencial, com exceção da coordenada  $a^*$  em que a face tangencial obteve valores mais elevados. O mesmo resultado foi encontrado por Calderon (2012) para as espécies nativas da Amazônia *Aspidosperma macrocarpon* - amarelinho ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C$  e  $h^*$ ), *Symphonia globulifera* – bacuri ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C$  e  $h^*$ ), *Ocotea costulata* – louro roxo ( $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C$  e  $h^*$ ), e *Brosimum paraense* – muirapiranga ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C$  e  $h^*$ ). Este mesmo comportamento foi constatado na presente pesquisa.

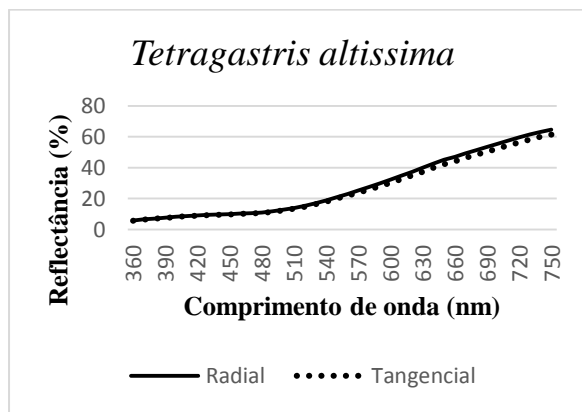
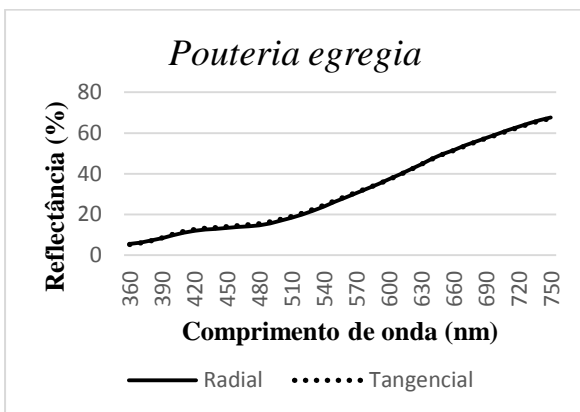
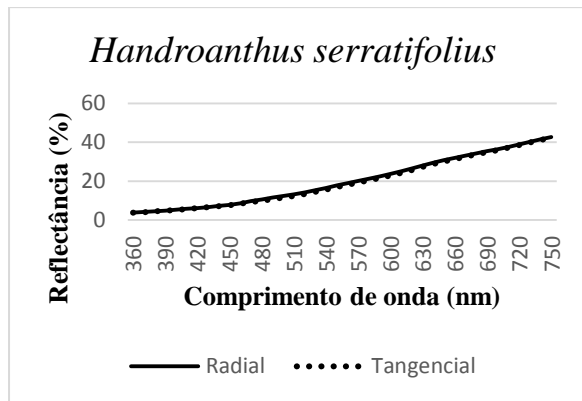
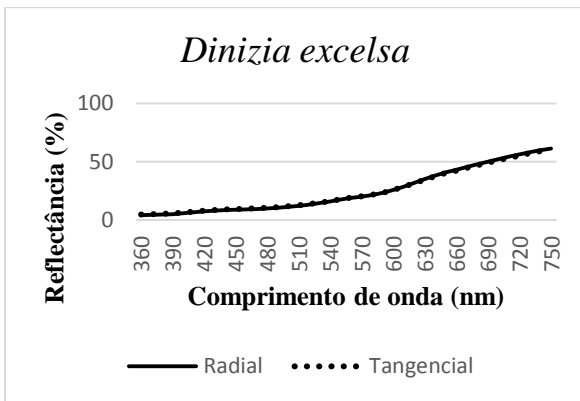
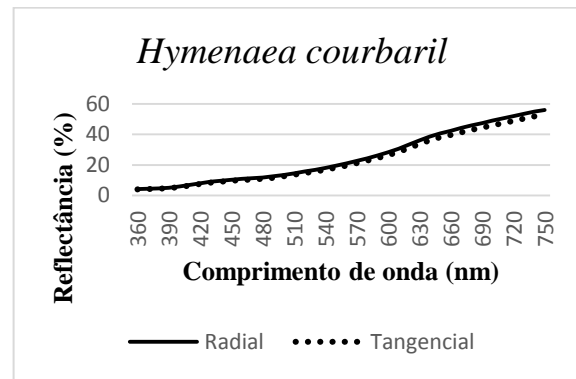
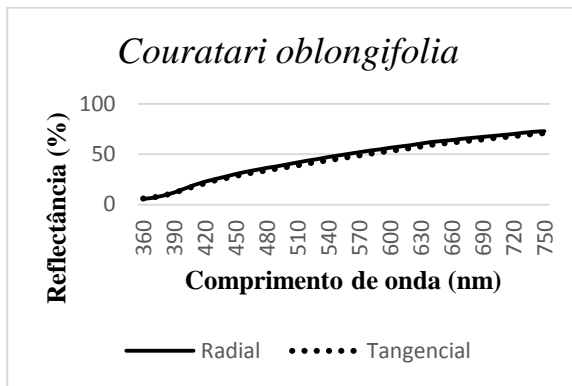
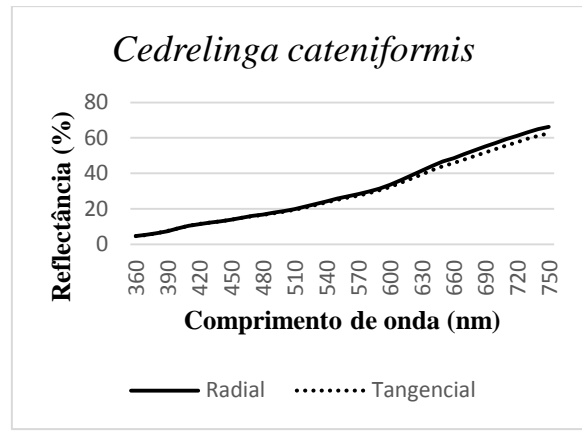
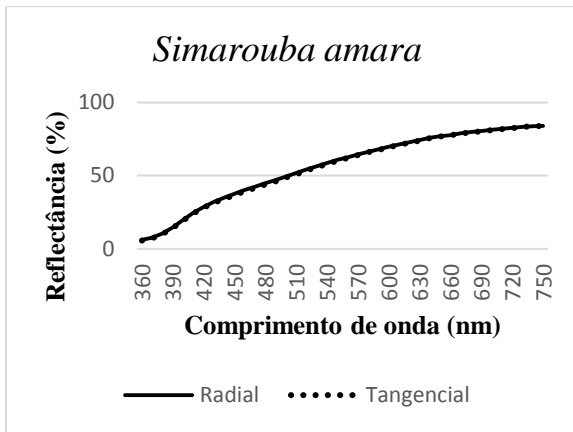
Corroborando com os resultados, Silva et al. (2015) analisaram a cor da madeira de oito espécies nativas do estado Rio Grande do Sul, sendo que para quatro espécies houve diferença estatística significativa entre as faces radial e tangencial nos parâmetros colorimétricos: *Araucaria angustifolia* (araucária) para os parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  e  $C$ , *Ilex pseudobuxus* (caúna) para o parâmetro  $L^*$ , *Luehea divaricata* (açoita cavalo) para os parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  e  $C$  e *Myrocarpus frondosus* (cabreúva) para os parâmetros  $b^*$  e  $C$ .

Outros autores também verificaram este mesmo comportamento entre as faces radiais e tangenciais em seus trabalhos. Gonzalez et al. (2006) com as espécies *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana*, Autran e Gonzalez (2006) avaliando a espécie *Brosimum rubescens* (muirapiranga) e Zerbini (2008) com *Sterculia pruriens* (axixá), *Pouteria oppositifolia* (guajará) e *Tachigali myrmecophila* (taxi preto).

As assinaturas espectrais ou curvas de reflectância determinadas de acordo com os comprimentos de onda das espécies tanto para a face radial quanto para a face tangencial podem ser observados na Figura 5.61. As espécies que mais refletiram luz foram o tauari (*C. oblongifolia*) e o marupá (*S. amara*) e as de menor reflectância foram o ipê (*H. serratifolius*) e a sucupira (*D. purpurea*).



Continua



Continua

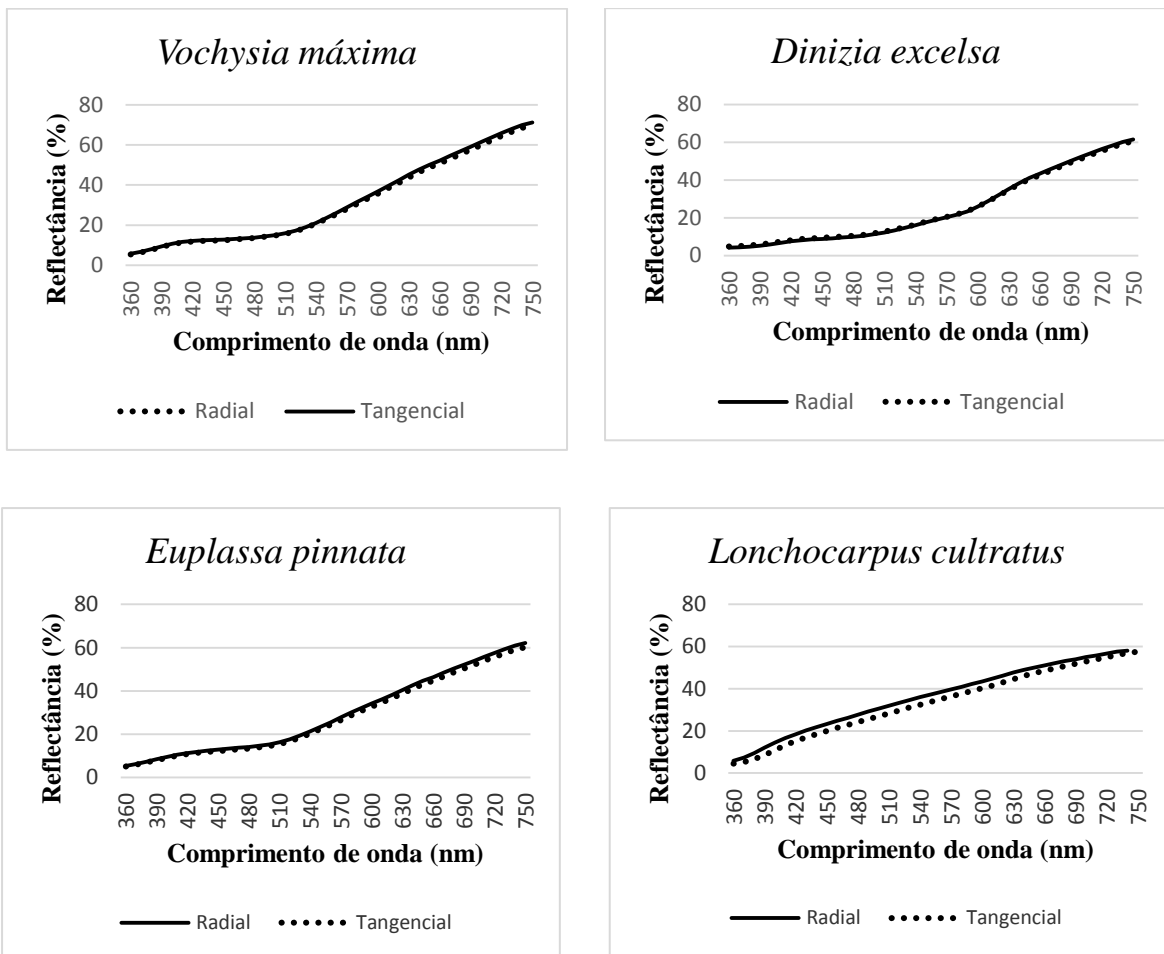


Figura 5.61 - Curva de reflectância das espécies em estudo, em função do comprimento de onda.

Observando as curvas de reflectâncias das espécies (Figura 5.61), constatou-se que para a espécie *D. purpurea* (Sucupira) há uma maior reflectância para a face tangencial em relação a radial, confirmando a cor mais clara desta face. Para as outras quatro espécies (*M. itauba* (Itaúba), *H. petraeum* (Angelim pedra), *A. leiocarpa* (Garapeira), *C. oblongifolia* (Tauari) que apresentaram diferenças estatísticas entre as faces, verificou-se maiores reflectâncias na face radial em relação a tangencial, confirmando os resultados da Tabela 5.2. Nas curvas de reflectâncias das outras quinze espécies (Figura 5.61) que não apresentaram diferenças estatísticas entre as faces (Tabela 5.2) também pode ser constatada a grande proximidade destas curvas, confirmando que não existe diferença de claridade entre as faces.

Silva e Pastore (2004) estudando a fotodecomposição de madeiras tropicais discorrem que os espectros de reflectância do angelim vermelho, garapeira, ipê-amarelo, jatobá e marupá, são muito parecidos e somente possibilitam afirmar que essas madeiras refletem irradiação

em toda a extensão da região do visível. Silva et al. (2007), verificando a resistência ao intemperismo artificial de cinco madeiras tropicais, apresentaram os espectros de refletância difusa no visível das madeiras de ipê-roxo, itaúba, maçaranduba, tatajuba e tauari sem a aplicação de produtos de acabamento, resultados que apresentaram a mesma tendência que os apresentados neste trabalho. Apoiando os resultados Costa et al. (2011) avaliaram a refletância das madeiras de *Hymenaea courbaril* e *Couratari oblongifolia* e constataram que a madeira do jatobá reflete menos luz que a madeira do tauari em todos os comprimentos de onda do espectro.

### **5.3 - PROPRIEDADES FÍSICAS**

#### **5.3.1 - Densidade Básica e Retratibilidade**

A Tabela 5.3 apresenta a estatística descritiva para a densidade básica, retratibilidades e coeficiente de anisotropia das vinte espécies estudadas. A densidade básica média apresentou valores oscilando entre 0,33 g/cm<sup>3</sup> a 0,94 g/cm<sup>3</sup>, com média geral para todas as espécies de 0,64 g/cm<sup>3</sup>. O coeficiente de variação (%) foi baixo e ficou entre 1,75% e 7,06%, o que implica em uma maior precisão do experimento. Estas características são importantíssimas sob a ótica comercial, pois agregam valor, uso, qualidade e uniformidade aos produtos finais.

Silva Filho et al. (1992) afirmam a existência de grandes diferenças na densidade básica de espécies nativas, observando também que a madeira de certas áreas apresenta maior rendimento que a madeira da mesma espécie encontrada em outros locais.

Confirmando os resultados, Araújo (2002) que utilizou fontes institucionais como LPF/IBAMA, IPT, INPA e SUDAM, analisando as características físicas e mecânicas de cento e oitenta e sete espécies nativas da floresta Amazônica, encontrou densidade básica média de 0,63g/cm<sup>3</sup>, com valores mínimos e máximos oscilando de 0,29 g/cm a 1,01 g/cm<sup>3</sup>.

Tabela 5.3 - Valores médios, mínimos, máximos e coeficientes variação da densidade básica, das retratibilidades e dos coeficientes de anisotropia das espécies estudadas.

ESPÉCIE	Densidade Básica (g/cm <sup>3</sup> )	Retratibilidade (%)			Anisotropia Razão T/R
		Radial	Tangencial	Volumétrica	
<i>Q. brevipedicellata</i>	<b>0,59</b> (0,56) (0,67) (4,01)	<b>5,46</b> (4,24) (6,93) (15,06)	<b>7,42</b> (5,38) (9,53) (13,58)	<b>12,85</b> (10,64) (16,54) (10,77)	<b>1,38</b> (1,05) (2,03) (20,01)
<i>G. glabra</i>	<b>0,65</b> (0,62) (0,68) (2,73)	<b>5,35</b> (3,80) (8,09) (23,41)	<b>7,96</b> (6,69) (9,88) (10,05)	<b>13,05</b> (11,37) (16,45) (11,19)	<b>1,55</b> (1,04) (2,33) (21,78)
<i>M. itauba</i>	<b>0,67</b> (0,63) (0,70) (2,31)	<b>3,2</b> (1,96) (4,87) (25,13)	<b>5,62</b> (4,28) (7,96) (17,68)	<b>9,23</b> (6,85) (12,98) (13,51)	<b>1,86</b> (1,04) (3,36) (29,91)
<i>E. uncinatum</i>	<b>0,47</b> (0,42) (0,53) (5,59)	<b>5,31</b> (2,53) (7,84) (27,20)	<b>7,57</b> (3,87) (12,69) (25,03)	<b>12,85</b> (7,71) (19,10) (21,32)	<b>1,48</b> (1,00) (2,55) (26,04)
<i>H. petraeum</i>	<b>0,5</b> (0,43) (0,56) (7,06)	<b>3,6</b> (2,42) (5,38) (18,64)	<b>5,52</b> (4,45) (7,64) (16,25)	<b>9,86</b> (8,12) (12,01) (12,39)	<b>1,58</b> (0,96) (2,50) (25,65)
<i>M. huberi</i>	<b>0,82</b> (0,80) (0,84) (1,75)	<b>6,72</b> (4,79) (9,57) (19,67)	<b>10,22</b> (8,78) (11,82) (7,83)	<b>16,76</b> (13,89) (18,95) (8,38)	<b>1,58</b> (1,02) (2,31) (20,20)
<i>A. leiocarpa</i>	<b>0,64</b> (0,59) (0,68) (4,66)	<b>4,59</b> (3,33) (5,89) (18,07)	<b>7,62</b> (7,02) (8,13) (4,40)	<b>12,32</b> (10,82) (13,45) (6,84)	<b>1,71</b> (1,22) (2,32) (18,91)
<i>D. odorata</i>	<b>0,84</b> (0,78) (0,91) (4,42)	<b>4,68</b> (3,26) (5,92) (15,94)	<b>6,84</b> (5,82) (7,6) (7,35)	<b>11,67</b> (9,95) (13,57) (8,65)	<b>1,5</b> (1,08) (1,98) (17,31)
<i>S. amara</i>	<b>0,33</b> (0,31) (0,35) (2,82)	<b>3,6</b> (2,43) (5,05) (20,88)	<b>5,96</b> (4,69) (7,62) (12,52)	<b>9,88</b> (8,42) (12,33) (11,20)	<b>1,73</b> (1,00) (2,42) (24,32)
<i>C. cateniformis</i>	<b>0,51</b> (0,46) (0,55) (4,84)	<b>4,63</b> (2,1) (7,48) (25,99)	<b>6</b> (2,18) (8,26) (24,03)	<b>10,84</b> (4,86) (15,22) (20,56)	<b>1,33</b> (0,99) (2,33) (25,30)
<i>C. oblongifolia</i>	<b>0,51</b> (0,49) (0,55) (3,11)	<b>3,84</b> (2,92) (4,88) (15,31)	<b>5,55</b> (4,63) (6,56) (9,56)	<b>10,01</b> (8,25) (11,88) (9,83)	<b>1,49</b> (1,03) (2,08) (21,82)
<i>H. courbaril</i>	<b>0,8</b> (0,74) (0,85) (4,06)	<b>3,7</b> (2,97) (5,54) (17,39)	<b>6,38</b> (2,97) (5,54) (17,39)	<b>10,42</b> (7,99) (12,61) (10,91)	<b>1,78</b> (1,11) (2,42) (20,95)
<i>D. excelsa</i>	<b>0,82</b> (0,75) (0,89) (4,21)	<b>5,29</b> (4,30) (7,92) (16,85)	<b>7,2</b> (4,84) (10,77) (19,22)	<b>13,06</b> (10,14) (17,01) (14,84)	<b>1,38</b> (1,08) (2,04) (6,39)
<i>H. serratifolius</i>	<b>0,94</b> (0,86) (1,01) (4,09)	<b>6,69</b> (4,15) (8,20) (14,37)	<b>7,48</b> (4,29) (9,97) (16,23)	<b>14,61</b> (9,69) (18,41) (12,63)	<b>1,12</b> (1,02) (1,25) (18,23)
<i>P. egregia</i>	<b>0,67</b> (0,64) (0,71) (2,41)	<b>5,83</b> (4,63) (7,33) (16,21)	<b>8,43</b> (6,03) (11,24) (15,29)	<b>14,18</b> (11,98) (18,51) (10,35)	<b>1,49</b> (1,01) (1,88) (22,58)

Continua

Espécie	Densidade Básica (g/cm <sup>3</sup> )	Retratibilidade (%)			Anisotropia Razão T/R
		Radial	Tangencial	Volumétrica	
<i>T. altissima</i>	<b>0,67</b> (0,63) (0,70) (3,11)	<b>4,63</b> (3,27) (8,41) (28,91)	<b>8,23</b> (5,48) (11,79) (26,35)	<b>12,09</b> (8,65) (16,52) (17,14)	<b>1,86</b> (1,06) (2,98) (29,68)
<i>V. máxima</i>	<b>0,48</b> (0,45) (0,51) (3,17)	<b>5,01</b> (1,65) (6,71) (27,57)	<b>7,48</b> (2,66) (10,98) (31,58)	<b>12,49</b> (4,81) (18,13) (28,3)	<b>1,5</b> (1,01) (1,96) (19,88)
<i>D. purpurea</i>	<b>0,77</b> (0,68) (0,82) (3,88)	<b>5,18</b> (2,18) (8,81) (27,64)	<b>7,11</b> (4,00) (11,41) (19,98)	<b>12,46</b> (7,26) (19,36) (18,95)	<b>1,43</b> (1,00) (2,19) (20,79)
<i>E. pinnata</i>	<b>0,49</b> (0,44) (0,54) (5,8)	<b>7,51</b> (5,34) (11,13) (17,74)	<b>11,63</b> (6,99) (14,83) (21,32)	<b>18,43</b> (13,71) (21,63) (13,66)	<b>1,59</b> (1,00) (2,66) (27,23)
<i>L. cultratus</i>	<b>0,49</b> (0,43) (0,53) (5,48)	<b>4,2</b> (2,70) (5,17) (18,79)	<b>6,47</b> (5,28) (8,38) (14,01)	<b>11,87</b> (9,96) (19,65) (18,24)	<b>1,59</b> (1,09) (2,56) (23,48)

Valores entre parênteses são, respectivamente, valores mínimos, máximos e coeficiente de variação (%).

A densidade básica é uma das propriedades físicas mais importantes de um material, porque está diretamente associada a propriedades como resistência mecânica da madeira e grau de alteração dimensional e perda ou absorção de água (LOBÃO e PEREIRA, 2005). Lopes e Garcia (2002) afirmam que as variações da densidade básica (DB) entre espécies florestais estão relacionadas também com sua anatomia.

As variações de densidade básica encontradas neste estudo estão em conformidade com os valores encontrados na literatura para todas as espécies (IBDF 1981; IBDF 1988; MARQUES, 1997; ARAÚJO, 2002; FERRAZ et al., 2004; ARAÚJO, 2007) com algumas exceções decorrentes provavelmente da idade da árvore, sítio, fatores climáticos e/ou constituintes anatômicos e químicos, que são variáveis de espécie para espécie ou indivíduo para indivíduo. De acordo com Moreschi (2010), a densidade básica apresenta variações entre as espécies, dentro de uma mesma espécie e até dentro de uma mesma árvore, tanto no sentido base-topo, quanto no sentido medula-casca.

Melo et al. (1990) estabeleceu uma classificação para a densidade básica (DB) de madeiras tropicais: madeira leve ( $DB \leq 500 \text{ kg/m}^3$ ) – grupo 1; madeira média ( $500 \text{ kg/m}^3 < DB \leq 720 \text{ kg/m}^3$ ) - grupo 2 e madeira pesada ( $DB > 720 \text{ kg/m}^3$ ) – grupo 3.

Conforme essa classificação, madeiras tropicais quanto à densidade básica podem variar de leve a pesada. Observando a Tabela 5.3, 30% das espécies estudadas pertence ao grupo 1 (leve): *E. uncinatum*, *H. petraeum*, *S. amara*, *V. máxima*, *E. pinnata* e *L. cultratus*. A maioria das espécies (40%) se enquadram no grupo 2 (média densidade): *Q. brevipedicellata*, *G. glabra*, *M. itauba*, *A. leiocarpa*, *C. cateniformis*, *C. oblongifolia*, *P. egregia* e *T. altíssima*. As madeiras *M. huberi*, *D. odorata*, *H. courbaril*, *D. excelsa*, *H. serratifolius* e *D. purpurea* que somam os últimos 30%, são consideradas pesadas. Araújo (2007) enfatiza que a densidade das espécies florestais é a propriedade que mais fornece informações sobre as características da madeira, por estar intimamente relacionada com as demais propriedades da madeira.

Um bom indicador da estabilidade dimensional da madeira e dos produtos derivados é a amplitude da retratibilidade (GONÇALEZ et al., 2006). Ainda segundo estes autores, a diferença entre as retratibilidades tangencial e radial, frequentemente, explica as deformações na madeira durante a secagem, sendo um parâmetro essencial na qualidade da madeira e, por consequência, em sua utilização.

A classificação das madeiras quanto à retratibilidade volumétrica pode variar de fraca a forte. Segundo Sallenave (1955) e Guiscafre (1978) citados por Gonzalez (1993), espécies com retratibilidade volumétrica forte apresentam valores de 14,1 – 19%, espécies com retratibilidade volumétrica média apresentam valores de 9,1 – 14% e espécies com retratibilidade volumétrica fraca apresentam valores de 4 – 9%. Observando a Tabela 5.3, 80% das espécies pertencem ao grupo das madeiras com retratibilidade volumétrica média. As espécies *M. huberi*, *H. serratifolius*, *P. egregia* e *E. pinnata* foram classificadas com retratibilidade volumétrica forte. Segundo Gonzalez (2001), as espécies que possuem retratibilidade volumétrica média devem ser serradas após a umidade das mesmas entrarem em equilíbrio com o ambiente. Enquanto as que possuem retratibilidade forte merecem maiores cuidados, devendo ser preferencialmente secas individualmente.

Para Durlo e Marchiori (1992), o índice mais significativo para se avaliar a estabilidade dimensional da madeira é o coeficiente de anisotropia ou fator anisotrópico, sendo definido pela relação entre as contrações T/R (tangencial e radial), sendo frequentemente a contração na direção tangencial cerca de duas vezes maior que na direção radial. Moreschi (2012) classificou o fator anisotrópico (CA) em: madeira considerada excelente (1,2-1,5); madeira



considerada normal (1,6-1,9) e madeira de baixa qualidade ( $\geq 2,0$ ). Sendo assim, quanto mais próximo de 1 esse coeficiente, melhor será a estabilidade dimensional, produzindo madeira de melhor qualidade.

No presente trabalho, a média geral das espécies analisadas mostrou um coeficiente de anisotropia de 1,5, o que permite classificar a madeira como excelente, de acordo com o critério de avaliação proposto por Moreschi (2012), existindo oscilações entre 1,1 para o ipê (*H. serratifolius*) classificado como excelente e 1,8 para muiracatiara (*T. altíssima*) classificada como normal.

### 5.3.2 - Correlação entre a densidade básica (DB), retratibilidades (Radial (RR), Tangencial (RT), Volumétrica (RV)) e coeficiente de anisotropia (CA) das espécies em estudo.

A Tabela 5.4 apresenta as correlações obtidas para as propriedades de densidade básica, retratibilidade radial, tangencial e volumétrica e coeficiente anisotropia das espécies estudadas.

Tabela 5.4 - Correlação entre Densidade Básica (DB), Retratabilidades (RR, RT, RV) e Coeficiente de Anisotropia (CA) para as madeiras estudadas.

ESPÉCIE		DB		RR		RT		RV		CA
<i>Qualea brevipedicellata</i>	DB	1								
	RR	-0,5630	**	1						
	RT	-0,2368	ns	0,1283	ns	1				
	RV	-0,4657	*	0,6353	**	0,8296	**	1		
	CA	0,2665	ns	-0,6953	**	0,6095	**	0,0893	ns	1
<i>Goupia glabra</i>	DB	1								
	RR	0,1658	ns	1						
	RT	-0,1390	ns	0,2410	ns	1				
	RV	-0,0532	ns	0,8707	**	0,5154	*	1		
	CA	-0,2482	ns	-0,8392	**	0,2872	ns	-0,5277	*	1
<i>Mezilaurus itauba</i>	DB	1								
	RR	-0,2037	ns	1						
	RT	-0,0597	ns	0,0312	ns	1				
	RV	-0,1658	ns	0,6212	**	0,7864	**	1		
	CA	0,1466	ns	-0,7837	**	0,5535	*	-0,041	ns	1

Continua

ESPECIE		DB		RR		RT		RV		CA
<i>Erisma uncinatum</i>	DB	1								
	RR	0,0557	ns	1						
	RT	0,1399	ns	0,5960	**	1				
	RV	0,1213	ns	0,8632	**	0,9079	**	1		
	CA	0,0541	ns	-0,5345	*	0,3269	ns	-0,0594	ns	1
<i>Hymenolobium petraeum</i>	DB	1								
	RR	0,1701	ns	1						
	RT	0,5358	*	-0,0187	ns	1				
	RV	0,4957	*	0,3438	ns	0,8495	**	1		
	CA	0,1335	ns	-0,7199	**	0,6730	**	0,3112	ns	1
<i>Manilkara huberi</i>	DB	1								
	RR	-0,4247	ns	1						
	RT	0,0637	ns	0,0091	ns	1				
	RV	-0,3246	ns	0,8209	**	0,5211	*	1		
	CA	0,4166	ns	-0,9255	**	0,3095	ns	-0,6037	**	1
<i>Apuleia leiocarpa</i>	DB	1								
	RR	0,7519	**	1						
	RT	0,2735	ns	-0,0833	ns	1				
	RV	0,7863	**	0,8768	**	0,3371	ns	1		
	CA	-0,7003	**	-0,9761	**	0,2513	ns	-0,7796	**	1
<i>Dipteryx odorata</i>	DB	1								
	RR	-0,6472	**	1						
	RT	-0,2020	ns	0,1580	ns	1				
	RV	-0,6287	**	0,7937	**	0,6069	**	1		
	CA	0,5799	**	-0,9026	**	0,2568	ns	-0,5190	*	1
<i>Simarouba amara</i>	DB	1								
	RR	-0,4809	*	1						
	RT	0,2590	ns	-0,1322	ns	1				
	RV	-0,1264	ns	0,5026	*	0,6436	**	1		
	CA	0,4400	*	-0,8890	**	0,5278	*	-0,1660	ns	1
<i>Cedrelinga cateniformis</i>	DB	1								
	RR	-0,4945	*	1						
	RT	-0,2013	ns	0,6159	**	1				
	RV	-0,3413	ns	0,8795	**	0,9076	**	1		
	CA	0,3891	ns	-0,3963	ns	0,4486	*	0,0653	ns	1
<i>Couratari oblongifolia</i>	DB	1								
	RR	0,2195	ns	1						
	RT	-0,1319	ns	-0,5242	*	1				
	RV	0,5151	*	0,3726	ns	0,2235	ns	1		
	CA	-0,1987	ns	-0,9011	**	0,8241	**	-0,1056	ns	1

Continua

ESPÉCIE		DB		RR		RT		RV		CA
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	DB	1								
	RR	0,2557	ns	1						
	RT	-0,1925	ns	-0,1595	ns	1				
	RV	0,1916	ns	0,6736	**	0,4865	*	1		
	CA	-0,2616	ns	-0,7939	**	0,7051	**	-0,1910	ns	1
<i>Dinizia excelsa</i> Ducke	DB	1								
	RR	-0,2570	ns	1						
	RT	-0,3701	ns	0,5390	*	1				
	RV	-0,1969	ns	0,7820	**	0,8450	**	1		
	CA	-0,1352	ns	-0,3530	ns	0,5863	**	0,1789	ns	1
<i>Handroanthus serratifolius</i>	DB	1								
	RR	-0,6107	**	1						
	RT	-0,6532	**	0,9096	**	1				
	RV	-0,6273	**	0,9136	**	0,8958	**	1		
	CA	-0,2884	ns	0,1375	ns	0,5331	*	0,2759	ns	1
<i>Pouteria egregia</i>	DB	1								
	RR	0,2675	ns	1						
	RT	0,0686	ns	-0,0912	ns	1				
	RV	0,2838	ns	0,5017	*	0,7942	**	1		
	CA	-0,179	ns	-0,7757	**	0,6912	**	0,132	ns	1
<i>Tetragastris altissima</i>	DB	1								
	RR	0,0200	ns	1						
	RT	0,2536	ns	0,3333	ns	1				
	RV	0,1744	ns	0,7385	**	0,6846	**	1		
	CA	0,2129	ns	-0,5355	*	0,6076	**	-0,0362	ns	1
<i>Vochysia máxima</i>	DB	1								
	RR	-0,0503	ns	1						
	RT	0,0873	ns	0,7865	**	1				
	RV	0,0732	ns	0,9007	**	0,9727	**	1		
	CA	0,2438	ns	-0,0823	ns	0,5326	*	0,3386	ns	1
<i>Diplotropis purpurea</i>	DB	1								
	RR	-0,2576	ns	1						
	RT	-0,3175	ns	0,7655	**	1				
	RV	-0,3175	ns	0,9527	**	0,9110	**	1		
	CA	-0,0232	ns	-0,7335	**	-0,1627	ns	-0,5258	ns	1
<i>Euplassa pinnata</i>	DB	1								
	RR	0,1608	ns	1						
	RT	0,1064	ns	0,0948	ns	1				
	RV	0,1666	ns	0,4980	*	0,8446	**	1		
	CA	0,0070	ns	-0,5520	*	0,7502	**	0,3855	ns	1

Continua

ESPÉCIE		DB		RR		RT		RV		CA
<i>Lonchocarpus cultratus</i>	DB	1								
	RR	0,7450	**	1						
	RT	0,2453	ns	0,1090	ns	1				
	RV	0,1454	ns	-0,0197	ns	0,7481	**	1		
	CA	-0,5343	*	-0,8100	**	0,4719	*	0,5106	*	1

\*\* e \*: Significativo a 1 e 5%, respectivamente, pelo teste t; ns: Não significativo

Ao se avaliar a correlação entre a densidade básica e a retratibilidade volumétrica para as vinte espécies estudadas, verificou-se uma fraca correlação e não significativa para as espécies *Goupia glabra*, *Mezilaurus itauba*, *Erismia uncinatum*, *Manilkara huberi*, *Simarouba amara*, *Cedrelinga cateniformis*, *Hymenaea courbaril*, *Dinizia excelsa*, *Pouteria egregia*, *Tetragastris altíssima*, *Vochysia máxima*, *Diploptropis purpurea*, *Euplassa pinnata* e *Lonchocarpus cultratus*. Corroborando com os resultados, Rocha (1994) observou resultados semelhantes ao avaliar correlações entre as propriedades físicas da madeira de diferentes espécies florestais. Araújo (2002) correlacionou as propriedades físicas e mecânicas de 187 espécies nativas, encontrou correlações fracas entre densidade e retratibilidade radial (0,443) e entre densidade e retratibilidade tangencial (0,411). Melo et al. (2013) correlacionou propriedades físicas e mecânicas de 30 espécies nativas do Rio Grande do Sul, para as propriedades físicas, os coeficientes de retratibilidade foram os parâmetros que tiveram as menores correlações, porém, apesar fracas foram significativas.

As espécies *Qualea brevipedicellata*, *Apuleia leiocarpa*, *Dipteryx odorata* e *Handroanthus serratifolius* mostraram correlações significativas entre a densidade e as retratibilidades radial e volumétrica. Este comportamento com correlações positivas entre as retratibilidades com a densidade foi verificado por Zerbini (2008) para as espécies nativas Guajará e Taxi e Calderon (2012) para *A. macrocarpon*, *S. globulifera*, *O. costulata* e *B. paraense*.

As espécies *Apuleia leiocarpa* (-0,7003) e *Lonchocarpus cultratus* (-0,5343) apresentaram correlação significativa entre densidade básica (DB) e coeficiente de anisotropia (CA), porém negativa. Gonçalves et al. (2010) avaliaram correlações entre as propriedades tecnológicas em um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* e a densidade básica (DB) apresentou forte correlação negativa com o fator anisotrópico (CA) (-0,83).

Apesar da maioria das espécies estudadas não terem apresentado correlação significativa entre a densidade e as retratibilidades, algumas espécies mostram correlação com algumas das formas de retratibilidade. Observou-se que não existe uma tendência geral de correlação da densidade com as retratibilidades, devendo sempre ser considerado espécie a espécie para poder entender o comportamento das madeiras com relação a estas propriedades. Provavelmente, a constituição anatômica de cada espécie aliada a sua constituição química tem influência nessas propriedades, fazendo com que exista essa variação. Além disso, segundo Gonzalez (1993), o número de amostras, aliado ao não controle dos locais das pranchas de onde foram retirados os corpos de prova também pode ter influenciado os resultados.

Como esperado, houve uma tendência para a maioria das espécies de uma correlação significativa entre as retratibilidades, principalmente da volumétrica com a radial e a tangencial. Segundo Oliveira e Silva (2003), a magnitude das variações dimensionais depende de inúmeros fatores, como o teor de umidade, a direção estrutural (radial, tangencial ou longitudinal), a posição dentro da árvore, a densidade da madeira, a temperatura, o grau de estresse de secagem causado pelo gradiente de umidade, entre outros. Os resultados encontrados neste trabalho são similares aos de Gonzalez (1993), Araújo (2002), Zerbini (2008), D' Ambros (2011) e Calderon (2012), que trabalharam com espécies de madeira tropicais.

#### **5.4 - PROPRIEDADES MECÂNICAS**

O conhecimento das propriedades mecânicas da madeira é primordial para a sua utilização, principalmente quando a mesma for submetida a esforços de resistência.

##### **5.4.1 - Módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidade estático (MOE) e módulo de elasticidade dinâmico por *Stress wave* (MOEds) e por Ultrassom (MOEdu)**

As propriedades mecânicas das espécies florestais avaliadas apresentaram valores médios de módulo de ruptura (MOR) de 93,60 MPa, módulo de elasticidade estático (MOE) de 12681 MPa, módulo de elasticidade dinâmico obtido com o *Stress Wave Timer* (MOEds) de 14.657 MPa e módulo de elasticidade dinâmico obtido por meio de ondas ultrassônicas

(MOEdu) de 22.470 MPa. A estatística descritiva das propriedades MOR, MOE, MOEds e MOEdu para cada espécie são apresentadas na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Valores médios do Módulo de ruptura (MOR), Módulo de elasticidade estático (MOE), Módulo de elasticidade dinâmico por *Stress Wave* (MOEds) e Módulo de elasticidade dinâmico por Ultrassom (MOEdu) das espécies estudadas.

<b>ESPÉCIE</b>	<b>MOR</b> (MPa)	<b>MOE</b> (MPa)	<b>MOEds</b> (MPa)	<b>MOEdu</b> (MPa)
<i>Q. brevipedicellata</i>	<b>84,8</b> (46,0) (111,5) (19,5)	<b>12808,1</b> (10899,5) (15259,4) (8,7)	<b>13501</b> (11863,4) (15631,5) (8,9)	<b>21532,2</b> (18763,0) (24359,4) (6,9)
<i>G. glabra</i>	<b>126,0</b> (103,0) (143,0) (9,2)	<b>15547,9</b> (13464,1) (17607,0) (7,4)	<b>16692,4</b> (12234,8) (19819,5) (8,9)	<b>25679,6</b> (23803,8) (28922,4) (5,0)
<i>M. itauba</i>	<b>95,9</b> (67,2) (123,6) (13,6)	<b>11685</b> (9537,1) (14305,6) (12,0)	<b>13483,5</b> (12210,7) (15167,1) (5,9)	<b>20124,8</b> (18934,3) (21732,4) (4,3)
<i>E. uncinatum</i>	<b>68,8</b> (47,1) (85,0) (15,1)	<b>8103,6</b> (5722,2) (11582,0) (16,2)	<b>16756</b> (14151,8) (21488,9) (12,3)	<b>19678,3</b> (16513,8) (23505,1) (11,3)
<i>H. petraeum</i>	<b>68,3</b> (43,0) (86,3) (14,8)	<b>9474,8</b> (7892,7) (11921,4) (11,0)	<b>10326,3</b> (7114,3) (12967,1) (12,2)	<b>16689,3</b> (14703,3) (19338,7) (7,1)
<i>M. huberi</i>	<b>133,1</b> (76,3) (183,3) (17,3)	<b>17849,5</b> (12046,9) (22008,7) (13,2)	<b>19319,2</b> (15694,1) (21995,5) (8,4)	<b>33068,9</b> (30578,8) (36110,6) (4,1)
<i>A. leiocarpa</i>	<b>93,3</b> (20,6) (130,9) (41,1)	<b>11768,4</b> (3814,8) (16349,4) (35,3)	<b>15463,5</b> (12326,5) (18199,1) (11,6)	<b>24471,8</b> (19637,8) (28130,9) (10,6)
<i>D. odorata</i>	<b>118,6</b> (65,4) (155,1) (17,5)	<b>14971,8</b> (11738) (16954,8) (8,5)	<b>17350,8</b> (15751,5) (19056,4) (5,1)	<b>25540,4</b> (22770,9) (28032,1) (5,7)
<i>S. amara</i>	<b>53,5</b> (36,3) (67,8) (17,6)	<b>7704,2</b> (5722,3) (14305,6) (24,1)	<b>9090,0</b> (7269,3) (10401,7) (9,5)	<b>13297,2</b> (11398,4) (14630,3) (7,2)
<i>C. cateniformis</i>	<b>64,9</b> (19,7) (84,1) (26,2)	<b>9003,7</b> (6219,8) (10899,5) (15,2)	<b>10653,4</b> (9094,8) (12449,6) (8,8)	<b>16697,9</b> (14918,7) (18898,4) (7,2)
<i>C. oblongifolia</i>	<b>105,7</b> (82,7) (123,6) (10,7)	<b>14064,8</b> (12262,0) (20600,2) (12,5)	<b>14404,8</b> (13568,1) (16156,8) (4,1)	<b>20515,1</b> (19761,4) (21492,4) (2,6)
<i>H. courbaril</i>	<b>104,4</b> (61,8) (169,7) (25,1)	<b>13621,9</b> (10098,1) (19074,3) (16,2)	<b>15370</b> (11332,5) (19183,6) (12,1)	<b>25686,9</b> (21359,2) (31441,5) (10,3)
<i>D. excelsa</i>	<b>93,4</b> (65,4) (135,7) (19,0)	<b>14144,2</b> (9537,2) (22889,1) (21,5)	<b>16524,5</b> (13299,1) (19405,5) (9,1)	<b>26048,2</b> (20779,8) (30549,6) (9,5)
<i>H. serratifolius</i>	<b>94,4</b> (21,2) (206,0) (60,2)	<b>13416,7</b> (4087,3) (23842,8) (47,3)	<b>16746,3</b> (9053,5) (25050,8) (32,8)	<b>29319,7</b> (15810) (40728,4) (29,7)
<i>P. egregia</i>	<b>115,5</b> (77,5) (135,7) (14,6)	<b>15075,6</b> (10899,6) (25432,3) (19,2)	<b>15817,4</b> (13733,3) (17655,5) (7,7)	<b>24584,7</b> (22556,9) (26828,1) (5,3)

Continua

<b>ESPÉCIE</b>	<b>MOR</b> (MPa)	<b>MOE</b> (MPa)	<b>MOEds</b> (MPa)	<b>MOEdu</b> (MPa)
<i>T. altissima</i>	<b>116,7</b> (99,4) (130,9) (8,3)	<b>16707</b> (12716,2) (22889,1) (17,9)	<b>15341,4</b> (13503,3) (17544,1) (7,0)	<b>23540,9</b> (21723,5) (25776,5) (5,1)
<i>V. máxima</i>	<b>76,8</b> (60,0) (91,4) (10,9)	<b>9340,9</b> (7152,8) (11444,5) (12,5)	<b>13056,9</b> (10598,7) (14680,6) (10,1)	<b>15449</b> (11892,9) (17317,9) (8,2)
<i>D. purpurea</i>	<b>126,5</b> (94,5) (157,5) (11,9)	<b>16512,7</b> (12716,2) (20808,3) (10,2)	<b>18961,1</b> (16600,3) (21722,8) (7,2)	<b>30140,8</b> (25956,1) (32725,1) (5,4)
<i>E. pinnata</i>	<b>54,1</b> (40,0) (71,5) (15,8)	<b>10327,1</b> (8174,7) (12716,1) (12,6)	<b>12093,9</b> (10866,5) (15547,8) (10,7)	<b>18831,7</b> (15368,7) (25058,6) (11,7)
<i>L. cultratus</i>	<b>76,3</b> (53,3) (98,1) (14,6)	<b>11509,7</b> (9035,2) (20808,3) (21,2)	<b>12194,5</b> (9967,0) (14098,8) (9,1)	<b>18503,6</b> (16414,3) (21329,6) (8,9)

Valores entre parênteses são, respectivamente, valores mínimos, máximos e coeficientes de variação (%).

Estes resultados são próximos aos apresentados por Araújo (2002) que trabalhou com as características físicas e mecânicas de 187 espécies nativas da floresta amazônica e encontrou módulo de ruptura à flexão estática médio de 116,04 MPa e módulo de elasticidade à flexão estática médio de 12.935 MPa. D'Ambros (2011) e Calderon (2012) caracterizando as propriedades mecânicas de espécies amazônicas encontraram valores médios para o MOR de 111,01 MPa e 138,75 MPa e para MOE de 12.122 MPa e 17.510 MPa, respectivamente.

Os valores dos módulos de elasticidade e de ruptura à flexão estática estão de acordo aos encontrados em trabalhos realizados pelo IBAMA (IBDF, 1981; IBDF, 1988; LISBOA et al., 1993; MARQUES, 1997).

Dias e Lahr (2004) avaliando as características mecânicas de quarenta espécies amazônicas encontraram para o módulo de ruptura (MOR) valor médio de 103,27 MPa, módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras de ( $E_{c0}$ ) de 15326 MPa e módulo de elasticidade à flexão estática (MOE) de 15995 MPa. Zerbini (2008) analisando as características mecânicas de Axixá, Guajará e Taxi nativas da Amazônia encontrou valores médios para o MOR de 131,00 MPa, MOE de 13785 MPa e MOEdu de 20662 MPa. Os valores encontrados para MOEdu foram superiores ao MOE nas seguintes proporções: 33% para Guajará, 42% Axixá e 80% para o Taxi. Esses resultados são próximos aos encontrados neste trabalho. Segundo Gonzalez (1993) a natureza viscoelástica da madeira pode ser a principal responsável pelos valores elevados do módulo de elasticidade dinâmico de ultrassom.

Del Menezzi et al. (2010) estimaram a flexão estática da madeira de seis espécies amazônicas por meio de ondas de tensão. As espécies pau marfim (*Balfourodendron riedelianum* (Engl)), cedro (*Cedrela fissilis* Vel.), freijó (*Cordia goeldiana* Huber), cumaru (*Dipteryx odorata* (Aubl.) Wild), sucupira (*Bowdichia virgilioides* H.B.K.) e ipê (*Tabebuia* sp) foram avaliadas por métodos não destrutivos por meio da técnica de ondas de tensão empregando-se o equipamento *Stress wave Timer*. Foram encontrados para *Dipteryx odorata* MOR = 199,00 MPa, MOE = 19860 MPa e MOEds = 21350 MPa, para *Tabebuia* sp MOR = 187,00 MPa, MOE = 18785 MPa e MOEds = 20413 MPa. Os autores concluíram que de maneira geral o módulo de elasticidade dinâmico MOEds obtido através do *stress wave* é um ótimo estimador das propriedades de flexão de madeiras tropicais.

Guimarães et al. (2012) avaliaram as propriedades de flexão e ultrassom em madeiras de quatro espécies florestais (*D. odorata*, *P. guianensis*, *C. catenaeformis* e *T. grandis*). Foram calculados os módulos de ruptura e elasticidade à flexão estática e os módulos de elasticidade dinâmicos obtidos com ultrassom. Os valores encontrados foram: para *D. odorata* MOR = 155,7 MPa, MOE = 19384 e MOEdu = 29653 MPa; para *P. guianensis* MOR = 149,9 MPa, MOE = 16592 MPa e MOEdu = 27738 MPa; para *C. catenaeformis* MOR = 74,8 MPa, MOE = 9312 MPa e MOEdu = 14625 MPa e para *T. grandis*, que obteve o valor para MOR = 95,10 MPa, MOE = 10433 e para o MOEdu = 14676. Os autores concluíram que o ultrassom é um método sensível e de rápida avaliação da qualidade da madeira, estimando inclusive as propriedades mecânicas elásticas. Almeida et al. (2012) avaliaram vigotas de angelim vermelho (*Dinizia excelsa* Ducke) por ensaios destrutivos e não-destrutivos. Para MOE obtiveram o valor de 19508 MPa, resultado superior ao deste trabalho (14144 MPa) e para MOEdu 23919 MPa, valor inferior ao relatado neste estudo (26048 MPa).

Alves e Carrasco (2013) estimaram as constantes elásticas de madeiras tropicais com alta densidade e encontraram valores próximos ao deste estudo. Os valores de MOE estático e de MOEdu para as espécies foram, respectivamente: para angelim pedra (*Hymenolobium petraeum*) iguais a 12077 e 21512 MPa, para angelim vermelho (*Dinizia excelsa*) iguais a 9909 e 21679 MPa, para garapa (*Apuleia leiocarpa*) iguais a 12258 e 22883 MPa e para muiracatiara (*Astronium lecointei*) iguais a 8729 e 17163 MPa. Os autores encerram dizendo que o método se mostrou eficiente para estimar as constantes de rigidez da madeira.



Corroborando com os resultados Freitas et al. (2016) avaliaram o efeito do tratamento térmico nas propriedades de *Simarouba amara* (Aubl.) e encontraram para a testemunha o valor de MOE dinâmico utilizando o *stress wave* de 5445 MPa. Já Neto et al. (2016) determinaram os módulos de elasticidade e ruptura das espécies eucalipto (*Corymbia citriodora*), louro preto (*Cordia alliodora*), maçaranduba (*Manilkara* sp.) e pau brasil (*Caesalpinia echinata*) por técnicas não destrutivas e destrutiva. Para a espécie maçaranduba os valores encontrados para MOR, MOE e MOEds (*Stress wave*) foram respectivamente: 186,3 MPa, 16389 MPa e 19912MPa.

De Paula et al. (2016a) estimaram o módulo de elasticidade da madeira de *Dipteryx odorata* por meio de técnicas não destrutivas (*Stress wave* e ultrassom). O valor encontrado para o módulo de elasticidade dinâmico utilizando o ultrassom foi 26242 MPa e para o *Stress wave* foi 18359 MPa, valores muito próximos ao desta pesquisa.

Analisando a literatura citada, de uma forma geral verifica-se que os valores médios do MOR, MOE estáticos e os módulos de elasticidades dinâmicos MOEdu e MOEds das espécies estudadas são próximos da bibliografia consultada. A Figura 5.62 complementa estas informações, mostrando os módulos de elasticidade estático e dinâmico de cada uma das espécies estudadas.

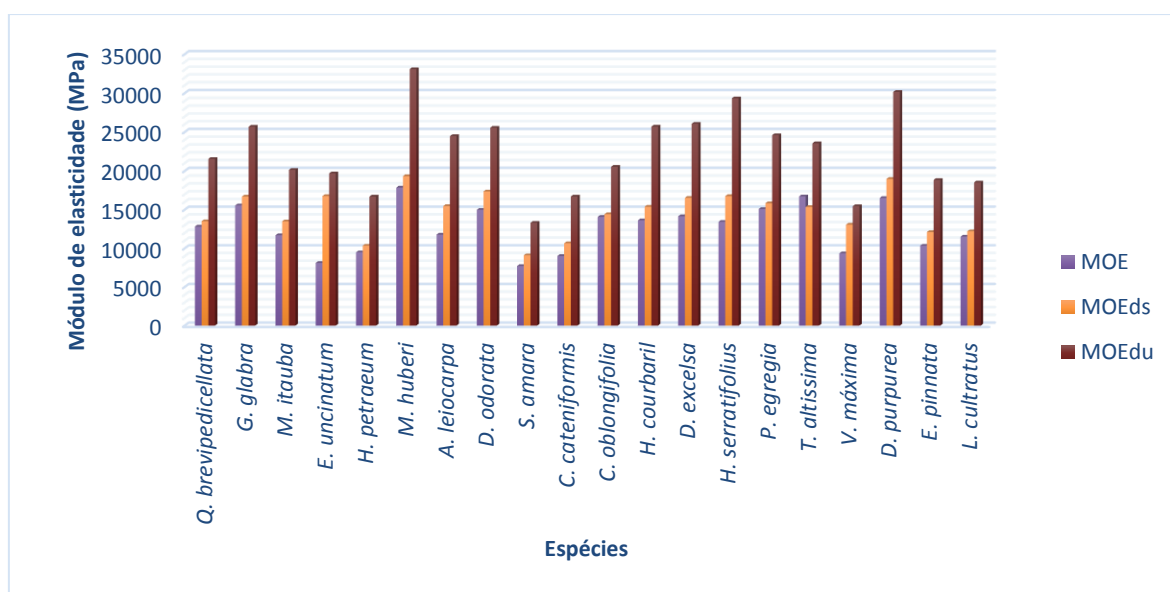


Figura 5.62 - Comparação entre os Módulos de Elasticidade Estático e Dinâmico das espécies florestais estudadas.

Fonte: Autor

Analisando ainda a Figura 5.62, verifica-se, como apresentado na Tabela 5.5, que de maneira geral o ultrassom (MOEdu) superestimou os valores do MOE para todas as espécies. O ensaio de *Stress wave* também apresentou valores mais elevados que o MOE, porém com valores bem próximos, exceto para a espécie *T. altissima*, em que o valor do MOEds foi inferior ao MOE. Stangerlin et al. (2011) citando vários autores (BUCUR e BÖNHKE, 1994; KAWAMOTO; WILLIAMS, 2002; CARRASCO e AZEVEDO JÚNIOR, 2003; OLIVEIRA et al., 2005b) discorrem que são inúmeros os fatores que podem influenciar a propagação de ondas na madeira, como: teor de umidade, caracteres morfológicos, densidade, grã, nós, rachaduras, temperatura, características dos transdutores, tipos de ondas e métodos de propagação. Segundo Gonzalez (2001), quanto menor a frequência de excitação do material, maior seria a proximidade entre os resultados obtidos em ensaios dinâmicos e seus correspondentes estáticos.

#### 5.4.2 - Correlação entre o *Stress Wave* (VELs e MOEds) e Flexão estática (MOR e MOE) das espécies estudadas

Na Tabela 5.6 estão agrupados valores de correlação entre os ensaios de *Stress Wave* (velocidade de propagação de onda de tensão (VELs) e módulo de elasticidade dinâmico (MOEds)) e o ensaio de flexão estática (módulo de elasticidade estático (MOE) e módulo de ruptura (MOR) das vinte espécies em estudo.

Tabela 5.6 – Correlação de Pearson entre *Stress Wave* e Flexão estática para as espécies estudadas.

ESPÉCIE		VELs		MOEds		MOE		MOR
<i>Qualea brevipedicellata</i>	VELs	1						
	MOEds	0,966	**	1				
	MOE	0,5022	*	0,3864	ns	1		
	MOR	0,126	ns	0,1177	ns	0,151	ns	1
<i>Goupia glabra</i>	VELs	1						
	MOEds	0,9397	**	1				
	MOE	0,2671	ns	0,3269	ns	1		
	MOR	-0,0851	ns	-0,0723	ns	0,4695	*	1
<i>Mezilaurus itauba</i>	VELs	1						
	MOEds	0,9275	**	1				
	MOE	0,5011	*	0,3615	ns	1		
	MOR	0,693	**	0,6109	**	0,669	**	1

Continua

ESPÉCIE		VELs		MOEds		MOE		MOR
<i>Erisma uncinatum</i>	VELs	1						
	MOEds	0,6909	**	1				
	MOE	0,4503	*	0,1562	ns	1		
	MOR	0,0198	ns	-0,05	ns	0,3204		1
<i>Hymenolobium petraeum</i>	VELs	1						
	MOEds	0,868	**	1				
	MOE	0,5765	**	0,7249	**	1		
	MOR	0,4026	ns	0,3186	ns	0,5765	**	1
<i>Manilkara huberi</i>	VELs	1						
	MOEds	0,9526	**	1				
	MOE	0,3416	ns	0,3652	ns	1		
	MOR	0,3597	ns	0,4073	ns	0,7929	**	1
<i>Apuleia leiocarpa</i>	VELs	1						
	MOEds	0,9668	**	1				
	MOE	0,0085	ns	-0,045	ns	1		
	MOR	-0,0497	ns	-0,1245	ns	0,9802	**	1
<i>Dipteryx odorata</i>	VELs	1						
	MOEds	0,7481	**	1				
	MOE	0,4242	ns	0,4227	ns	1		
	MOR	0,4111	ns	0,3609	ns	0,2893	ns	1
<i>Simarouba amara</i>	VELs	1						
	MOEds	0,9559	**	1				
	MOE	-0,0647	ns	-0,1005	ns	1		
	MOR	0,773	**	0,8766	**	- 0,0853	ns	1
<i>Cedrelinga cateniformis</i>	VELs	1						
	MOEds	0,9221	**	1				
	MOE	0,4907	*	0,5418	*	1		
	MOR	0,2751	ns	0,3237	ns	0,4081	ns	1
<i>Couratari oblongifolia</i>	VELs	1						
	MOEds	0,672	**	1				
	MOE	-0,1241	ns	0,2208	ns	1		
	MOR	0,0862	ns	0,0699	ns	0,5391	*	1
<i>Hymenaea courbaril</i>	VELs	1						
	MOEds	0,9407	**	1				
	MOE	0,8386	**	0,8719	**	1		
	MOR	0,6011	**	0,6202	**	0,8167	**	1

Continua

ESPÉCIE		VELs		MOEds		MOE		MOR
		VELs	1					
<i>Dinizia excelsa</i>		MOEds	0,9348	**	1			
		MOE	0,1162	ns	0,2091	ns	1	
		MOR	0,5404	*	0,4937	*	0,2341	ns
		VELs	1					
<i>Handroanthus serratifolius</i>		MOEds	0,9929	**	1			
		MOE	0,7347	**	0,6981	**	1	
		MOR	0,8615	**	0,8561	**	0,8752	**
		VELs	1					
<i>Pouteria egregia</i>		MOEds	0,8827	**	1			
		MOE	0,5657	**	0,4886	*	1	
		MOR	0,5841	**	0,5543	*	0,5286	*
		VELs	1					
<i>Tetragastris altissima</i>		MOEds	0,9039	**	1			
		MOE	0,0537	ns	0,3251	ns	1	
		MOR	0,4632	*	0,4435	*	0,0581	ns
		VELs	1					
<i>Vochysia máxima</i>		MOEds	0,7575	**	1			
		MOE	0,4094	ns	0,5632	**	1	
		MOR	0,1026	ns	0,3107	ns	0,178	ns
		VELs	1					
<i>Diploptropis purpurea</i>		MOEds	0,9178	**	1			
		MOE	0,1917	ns	0,1724	ns	1	
		MOR	0,6541	**	0,7247	**	0,362	ns
		VELs	1					
<i>Euplassa pinnata</i>		MOEds	0,7446	**	1			
		MOE	0,4389	ns	0,5155	*	1	
		MOR	0,4432	*	0,3455	ns	0,5192	*
		VELs	1					
<i>Lonchocarpus cultratus</i>		MOEds	0,8103	**	1			
		MOE	-0,1053	ns	-0,1383	ns	1	
		MOR	0,7758	**	0,7534	**	0,0891	ns

\*\* e \*: Significativo a 1 e 5%, respectivamente, pelo teste t; ns: Não significativo.

Analisando a Tabela 5.6 verificam-se fortes correlações entre a variável velocidade de propagação de onda (VELs) e a variável módulo de elasticidade dinâmico (*Strees wave*) para todas as espécies em estudo. Para as demais variáveis não há uma indicação clara de correlação, tendo-se que analisar espécie a espécie. Isso mostra que provavelmente a composição anatômica e química de cada espécie tem grande influência no deslocamento de

ondas longitudinais na madeira, podendo interferir na determinação de suas propriedades quando se utiliza esta tecnologia.

No entanto, a partir das informações contidas na Tabela 5.6, algumas tendências de correlações para grupos de espécies podem ser verificadas. Assim, as espécies *Q. brevipedicellata*, *M. itauba*, *E. uncinatum*, *H. petraeum*, *C. cateniformis*, *H. courbaril*, *H. serratifolius*, *P. egregia* mostraram correlação significativa entre a velocidade de propagação da onda (VELs) e a variável MOE estático, apesar de nem sempre essas correlações serem altas. Nesta mesma direção, as variáveis MOEds e MOR apresentaram correlações significativas para as espécies *M. itauba*, *S. amara*, *H. courbaril*, *H. serratifolius*, *P. egregia*, *T. altíssima*, *D. purpurea*, *L. cultratus*. Já as espécies *H. petraeum*, *C. cateniformis*, *H. courbaril*, *D. excelsa*, *H. serratifolius*, *P. egrégia*, *V. máxima* entre o MOEds e MOE estático.

Apoiando os resultados, Cunha e Matos (2010) determinaram o módulo de elasticidade em madeira laminada colada por meio do *Stress wave*. O objetivo foi estabelecer correlação entre os métodos estático e dinâmico de classificação de vigas de madeira laminada. Ficou evidenciado em seus resultados baixa correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico (MOEds) e estático (MOE) das vigas, não sendo possível uma equação adequada de correlação entre as diferentes formas de obtenção da variável. Já Del Menezzi et al. (2010) estimaram as propriedades de flexão estática de seis espécies amazônicas utilizando o *Stress wave* e encontrou correlação significativa entre velocidade de propagação de onda (VEL) e módulo de elasticidade estática (MOE) e entre o módulo de elasticidade dinâmico (MOEds) e o módulo de elasticidade estático (MOE) e módulo de ruptura (MOR).

Melo et al. (2013) utilizaram as características físicas e mecânicas para o agrupamento de trinta espécies florestais. Para as propriedades mecânicas foram realizados os ensaios de flexão estática, compressão paralela às fibras, tração perpendicular, cisalhamento, fendilhamento, dureza Janka e flexão dinâmica. O módulo de elasticidade dinâmico obteve correlação positiva e significativa com  $fc0v$  = resistência à compressão paralela da madeira verde (0,67\*);  $Ec0v$  = rigidez à compressão paralela da madeira verde (0,67\*);  $fc0s$  = resistência à compressão paralela da madeira seca (0,68\*);  $fMv$  = resistência à flexão da madeira verde (0,80\*);  $EMv$  = rigidez à flexão da madeira verde (0,66\*);  $fMs$  = resistência à flexão da madeira seca (0,78\*) e  $H90$  = dureza Janka perpendicular (0,74\*), em  $\text{kgf.cm}^{-2}$ .

Os autores destacam ainda que, das correlações altas pode-se inferir a utilização de ensaios não destrutivos para classificação das peças de madeira.

Medeiros Neto et al. (2016) avaliaram o uso de técnicas não destrutivas (frequências de vibração longitudinal e transversal e *Stress wave*) e correlacionaram com os resultados obtidos no ensaio destrutivo (estático) na determinação da rigidez e resistência da madeira de quatro espécies florestais. Avaliaram as relações entre as técnicas estática e dinâmica por meio do teste de Pearson. A técnica de vibração transversal proporcionou os maiores coeficientes de correlações entre a não destrutiva e a destrutiva para os módulos de elasticidade e ruptura para as madeiras ensaiadas, e a de *Stress wave*, os menores valores.

#### 5.4.3 - Correlação entre o Ultrassom (US) e Flexão estática (MOR e MOE) das espécies estudadas

Na Tabela 5.7 estão agrupados valores de correlação entre os ensaios de Ultrassom (velocidade de propagação de onda (VELu) e módulo de elasticidade dinâmico (MOEdu)) e o ensaio de flexão estática (módulo de elasticidade estático (MOE) e módulo de ruptura (MOR)) para as vinte espécies em estudo.

Tabela 5.7 – Correlação de Person entre Ultrassom e Flexão estática para as espécies estudadas.

ESPÉCIE		VELu	MOEdu	MOE	MOR
<i>Qualea brevipedicellata</i>	VELu	1			
	MOEdu	0,9419 **	1		
	MOE	0,5485 *	0,3917 ns	1	
	MOR	-0,0168 ns	-0,0268 ns	0,151 ns	1
<i>Goupia glabra</i>	VELu	1			
	MOEdu	0,8096 **	1		
	MOE	0,5344 *	0,64 ns	1	
	MOR	0,2795 ns	0,329 ns	0,4695 *	1
<i>Mezilaurus itauba</i>	VELu	1			
	MOEdu	0,8755 **	1		
	MOE	0,5965 **	0,4255 ns	1	
	MOR	0,7945 **	0,6992 **	0,669 **	1

Continua

ESPÉCIE		VELu		MOEdu		MOE		MOR
<i>Erisma uncinatum</i>		VELu	1					
		MOEdu	0,6727	**	1			
		MOE	0,4118	ns	0,0709	ns	1	
		MOR	0,0787	ns	-0,0393	ns	0,3204	ns
<i>Hymenolobium petraeum</i>		VELu	1					
		MOEdu	0,5335	*	1			
		MOE	0,6744	**	0,7097	**	1	
		MOR	0,6795	**	0,3221	ns	0,5765	**
<i>Manilkara huberi</i>		VELu	1					
		MOEdu	0,7912	**	1			
		MOE	0,5895	**	0,5546	*	1	
		MOR	0,5545	*	0,5892	**	0,7929	**
<i>Apuleia leiocarpa</i>		VELu	1					
		MOEdu	0,9831	**	1			
		MOE	-0,0953	ns	-0,1171	ns	1	
		MOR	-0,1542	ns	-0,1958	ns	0,9802	**
<i>Dipteryx odorata</i>		VELu	1					
		MOEdu	0,8198	**	1			
		MOE	0,6179	**	0,6804	**	1	
		MOR	0,3711	ns	0,3755	ns	0,2893	ns
<i>Simarouba amara</i>		VELu	1					
		MOEdu	0,9211	**	1			
		MOE	0,0047	ns	-0,0671	ns	1	
		MOR	0,7897	**	0,9044	**	0,0853	ns
<i>Cedrelinga cateniformis</i>		VELu	1					
		MOEdu	0,9046	**	1			
		MOE	0,3134	ns	0,3993	ns	1	
		MOR	0,1469	ns	0,2089	ns	0,4081	ns
<i>Couratari oblongifolia</i>		VELu	1					
		MOEdu	-0,064	ns	1			
		MOE	-0,0376	ns	0,4645	*	1	
		MOR	0,0988	ns	0,0673	ns	0,5391	*
<i>Hymenaea courbaril</i>		VELu	1					
		MOEdu	0,9142	**	1			
		MOE	0,7306	**	0,7411	**	1	
		MOR	0,443	*	0,439	ns	0,8167	**

Continua

ESPÉCIE		VELu		MOEdu		MOE		MOR
<i>Dinizia excelsa</i>	VELu	1						
	MOEdu	0,9418	**	1				
	MOE	0,147	ns	0,2305	ns	1		
	MOR	0,5021	*	0,4256	ns	0,2341	ns	1
<i>Handroanthus serratifolius</i>	VELu	1						
	MOEdu	0,9938	**	1				
	MOE	0,7568	**	0,731	**	1		
	MOR	0,8357	**	0,8367	**	0,8752	**	1
<i>Pouteria egregia</i>	VELu	1						
	MOEdu	0,7397	**	1				
	MOE	0,5689	**	0,4608	*	1		
	MOR	0,5702	**	0,5414	*	0,5286	*	1
<i>Tetragastris altissima</i>	VELu	1						
	MOEdu	0,8178	**	1				
	MOE	0,0228	ns	0,3916	ns	1		
	MOR	0,3767	ns	0,3171	ns	0,0581	ns	1
<i>Vochysia máxima</i>	VELu	1						
	MOEdu	0,6142	**	1				
	MOE	0,4872	*	0,602	**	1		
	MOR	-0,2188	ns	0,176	ns	0,178	ns	1
<i>Diploptropis purpurea</i>	VELu	1						
	MOEdu	0,872	**	1				
	MOE	0,4664	*	0,3346	ns	1		
	MOR	0,6478	**	0,6766	**	0,362	ns	1
<i>Euplassa pinnata</i>	VELu	1						
	MOEdu	0,8124	**	1				
	MOE	0,6105	**	0,5427	*	1		
	MOR	0,5913	**	0,3772	ns	0,5192	*	1
<i>Lonchocarpus cultratus</i>	VELu	1						
	MOEdu	0,8592	**	1				
	MOE	-0,0689	ns	-0,1055	ns	1		
	MOR	0,6095	**	0,529	*	-0,0891	ns	1

\*\* e \*: Significativo a 1 e 5%, respectivamente, pelo teste t; ns: Não significativo.

Assim como observado para o *Stress Wave*, analisando a Tabela 5.7, verificaram-se fortes correlações entre a variável velocidade de propagação de onda (VELu) e a variável módulo de elasticidade dinâmico (MOEdu) determinado por ultrassom, para todas as espécies em estudo, exceto *C. oblongifolia*. Para o caso do ultrassom, verificou-se um maior número de espécies que apresentaram correlações significativas entre a VELu e o MOE (doze espécies:



*Q. brevipedicellata*, *G. glabra*, *M. itauba*, *H. petraeum*, *M. huberi*, *D. odorata*, *H. courbaril*, *H. serratifolius*, *P. egrégia*, *V. máxima*, *D. purpúrea* e *E. pinnata*) e também a VEL e o MOR (onze espécies: *M. itauba*, *H. petraeum*, *M. huberi*, *S. amara*, *H. courbaril*, *D. excelsa*, *H. serratifolius*, *P. egrégia*, *D. purpúrea*, *E. pinnata* e *L. cultratus*) em relação ao *Stress Wave*.

É interessante observar que para as duas correlações mencionadas, existem oito espécies que estão nos dois grupos. Isso indica que o ultrassom parece ser mais apropriado para estas espécies para predizer o MOE e o MOR. Já para as correlações entre MOEdu x MOE e MOEdu x MOR para o ultrassom, as correlações foram bem semelhantes às determinadas por *Stress Wave*. Entretanto, apesar de um grande número de espécies aparecerem em ambos os grupos de correlações destas variáveis (tanto no ultrassom, como no *Stress wave*), existem espécies, como é o caso da *Couratari oblongifolia*, que não apresentaram correlação significativa com nenhuma das variáveis estudadas. Não só a estrutura anatômica e os componentes químicos de cada espécie devem ser levados em consideração no estudo de correlações entre suas propriedades, mas também outros fatores como, por exemplo, a procedência da madeira, o local da árvore de onde foram tirados os corpos de prova, o número de amostras, entre outros.

Stangerlin et al. (2010b) utilizaram o ultrassom para estimar as propriedades mecânicas da madeira de *Peltophorum dubium*. Encontraram correlação significativa entre o módulo de elasticidade (MOE) estático e o módulo de elasticidade dinâmico (MOEdu) ( $R^2 = 0,54$ ) e correlação fraca entre módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade dinâmico (MOEdu) ( $R^2 = 0,22$ ). Os autores concluíram que o método é eficiente, porém deve ser utilizado com cautela, visto que o modelo estatístico gerado para estimativa do módulo de ruptura (MOR) não se mostrou tão satisfatório quanto o verificado para estimativa do módulo de elasticidade (MOE).

Melo e Del Menezzi (2016) estimando as propriedades físico-mecânicas de compostos LVL confeccionados com paricá (espécie amazônica) por meio de ultrassom, encontraram valores para velocidade de propagação de onda de 5170 m/s e MOEdu de 11762 MPa. Apesar das equações geradas serem estatisticamente significativas em nível de 99% de probabilidade, os valores observados para os coeficientes de determinação ( $R^2 = 0,63$ ) foram baixos. Os autores concluíram que o módulo de elasticidade dinâmico (MOEdu) foi o parâmetro que melhor se adequou para estimar as propriedades dos LVL. Já a velocidade de propagação

das ondas, na maioria dos casos, não permitiu o ajuste de modelos estatisticamente significativos.

## 5.5 – ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIRS)

### 5.5.1 - Espectros na madeira (estudos preliminares dos espectros)

Os espectros NIR foram obtidos diretamente nos corpos de prova (blocos de madeira) em modo de absorvância. Os espectros adquiridos para a espécie abiuarana (*Pouteria egregia*) podem ser verificados nas Figuras 5.63 e 5.64, na região 12000 a 4000  $\text{cm}^{-1}$ , com resolução de 8  $\text{cm}^{-1}$ .

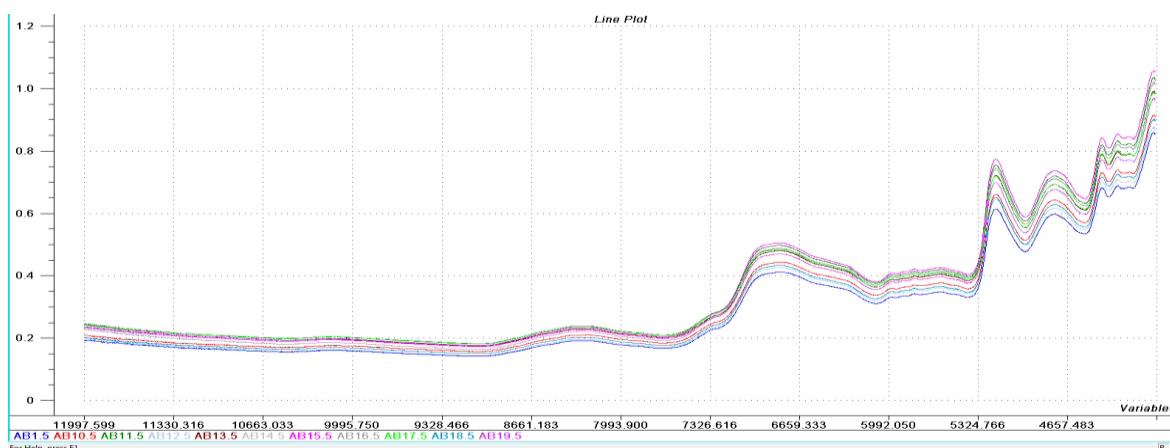


Figura 5.63 – Espectros de absorvância NIR para a espécie abiuarana na região espectral de 12000 a 4000  $\text{cm}^{-1}$ .

Fonte: Autor

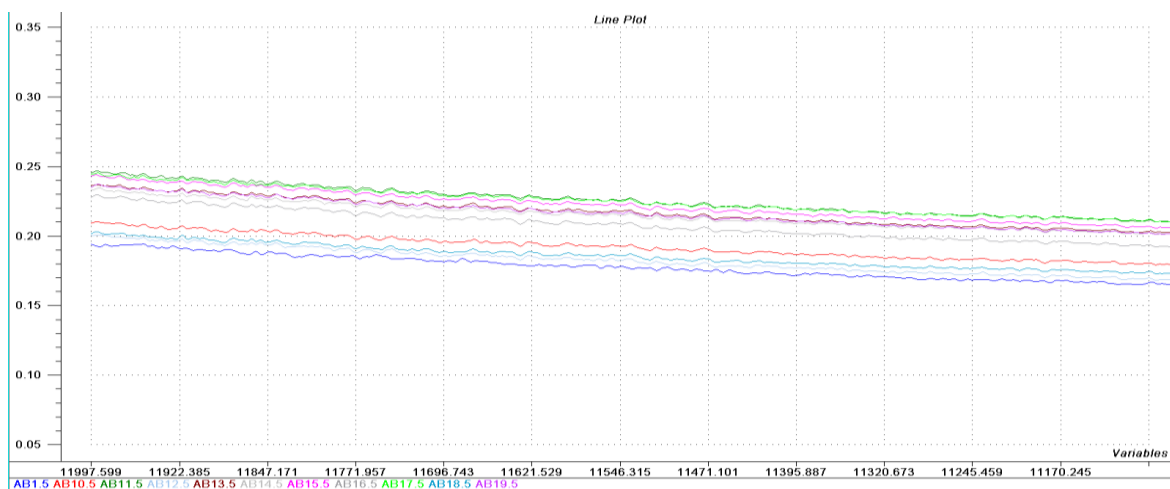


Figura 5.64 – Espectros de absorvância na região espectral de 12000 a 11000  $\text{cm}^{-1}$ .

Fonte: Autor

Por observação dos espectros foi visível que na região espectral entre os 12000-9000  $\text{cm}^{-1}$  ocorria muito ruído, sendo a região retirada do estudo por não ser informativa, sendo visualizados os picos de absorbância considerados vibrações de interesse a janela espectral de 9000-4000  $\text{cm}^{-1}$ . Na Figura 5.65 estão apresentados todos os espectros NIR obtidos para todas as dezoito espécies analisadas por meio dos métodos de referência.

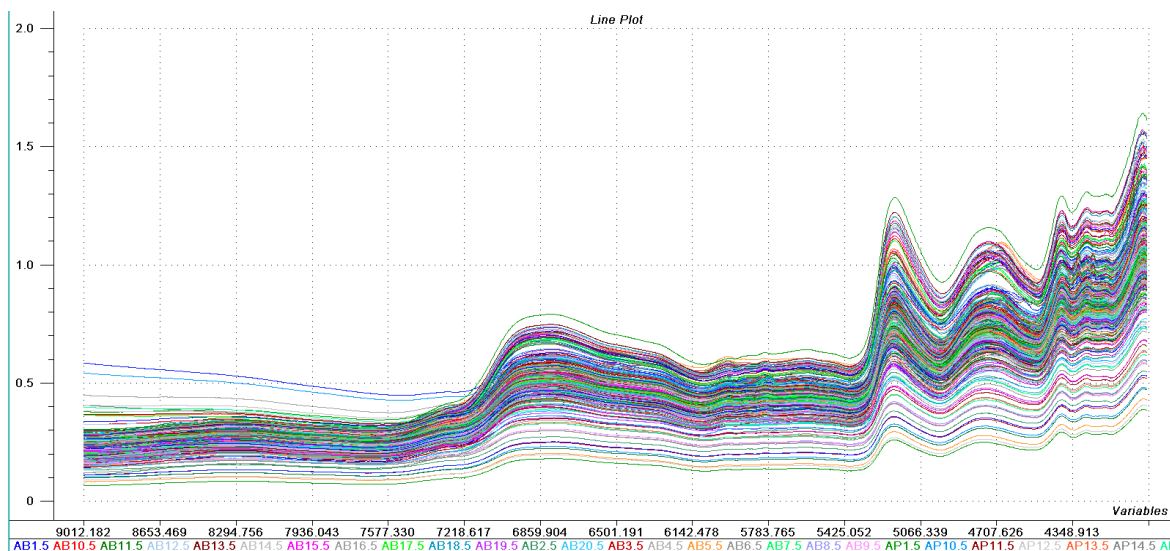


Figura 5.65 – Espectro bruto das dezoito espécies em estudo com janela espectral de 9000-4000  $\text{cm}^{-1}$ .

Fonte: Autor

De acordo com a Figura 5.65 cada banda de absorbância evidenciada nos espectros refere-se a sobreposições de vibrações de grupos funcionais dos compostos químicos presentes em cada amostra, sendo que cada espécie é formada por constituintes diferentes.

Segundo Rosso (2010) os grupos funcionais dos compostos químicos que estão presentes nas bandas de absorção na região de 9.090 a 7.692  $\text{cm}^{-1}$  fazem referência a região do 3º harmônico CO-CH e do ArCH (lignina) e a 2º região de harmônicos do CH, CH<sub>2</sub> (celulose, hemicelulose e ligninas) e CH<sub>3</sub> (grupo CH<sub>3</sub> – lignina). As bandas de absorção da região de 7.692 a 6.250  $\text{cm}^{-1}$  diz respeito ao 1º harmônico do grupo OH (celulose, hemicelulose e água) e ROH (hemiceluloses e lignina), também a 1º combinação dos harmônicos do CH (dos grupos CH, CH<sub>2</sub> e CH<sub>3</sub>). A região 6.250 a 5.263  $\text{cm}^{-1}$  pertence a região da 1º combinação dos harmônicos do CH, CH<sub>2</sub>, CH<sub>3</sub> e ArCH e região do 1º harmônico RCO<sub>2</sub>H e RCO<sub>2</sub>-R' e H<sub>2</sub>O e 2º harmônico do C=O (hemicelulose e lignina). A região de 5.263 a 4.545  $\text{cm}^{-1}$  reporta-se a 1º combinação de OH e banda de combinação de ROH e combinação de C-C,

CHO. A região 4.545 a 4.000  $\text{cm}^{-1}$  trata-se da banda de combinação de CH+CH, CH+C-C, C-C, CH, CH<sub>2</sub>, CH<sub>3</sub> e H<sub>2</sub>O.

Esse mesmo comportamento espectral foi encontrado por Hein (2008), avaliando as propriedades da madeira de *Eucalyptus urophylla*, por Andrade (2009) para prever propriedades da madeira e do carvão de *Eucalyptus* sp. por Ribeiro (2009) para prever as características de madeiras *Pinus caribaea* Var. *hondurensis* e de *Eucalyptus grandis*, Rosso (2010) para prever propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis*, por Gouvea et al. (2011) que determinou a densidade básica da madeira de *Eucalyptus*, por Belini (2012) que realizou a caracterização tecnológica de painéis com fibras de *Eucalyptus grandis* e partículas do bagaço do colmo da cana-de-açúcar e por Braz (2014) que avaliou a influência das tensões de crescimento e da poda sobre a qualidade da madeira de *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*.

Nas figuras 5.66 e 5.67 observam-se os espectros das dezoito espécies em estudo após o pré-tratamento dos dados com normalização da média, SNV (*Standard Normal Variate Method*) e 1ª derivada de SAVITZKY e GOLAY, (1964).

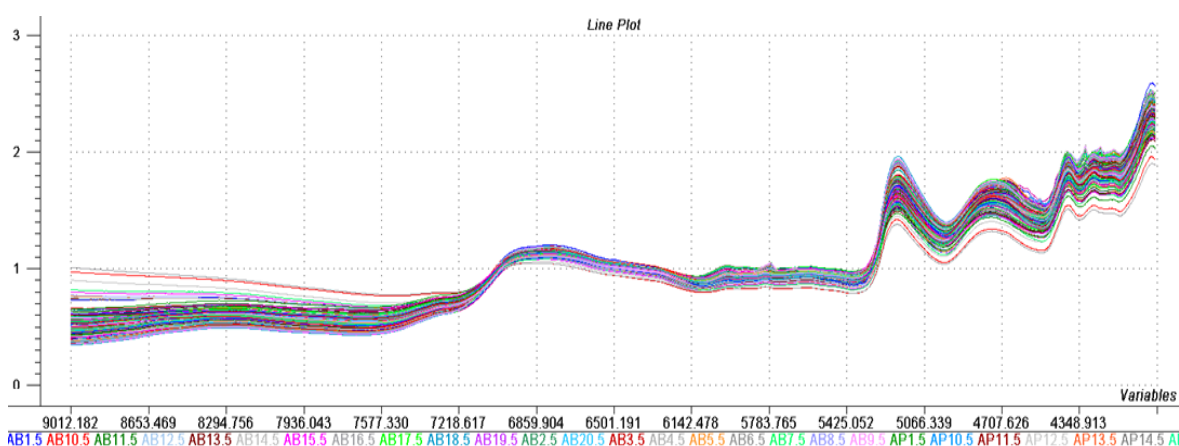


Figura 5.66 – Espectros de absorvância pré-tratados por normalização da média.

Fonte: Autor

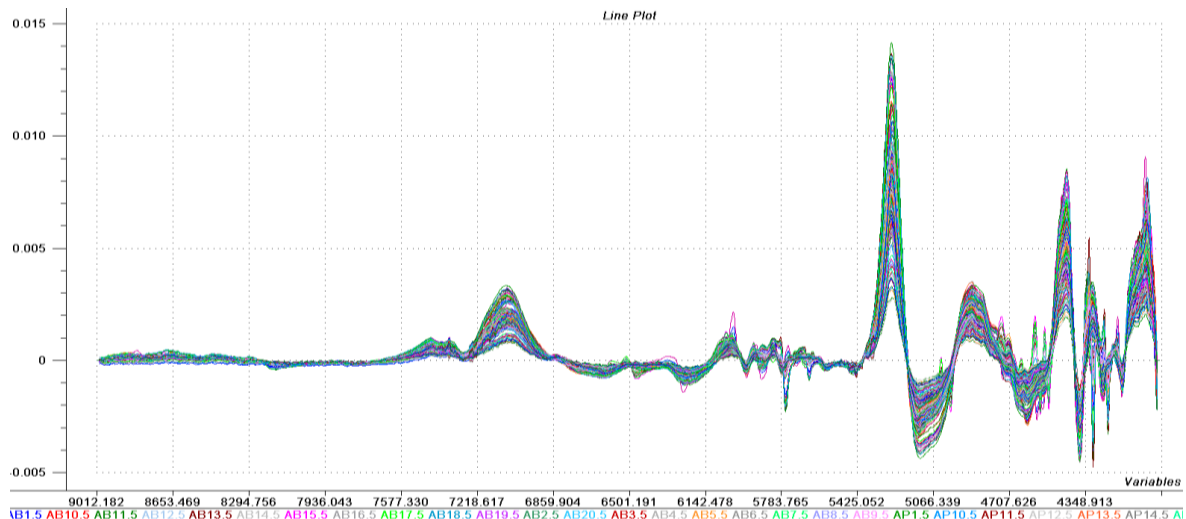


Figura 5.67 – Espectros de absorvância pré-tratados com *Standard Normal Variate Method* (SNV) e 1ª derivada de SAVITZKY e GOLAY (1964).

Fonte: Autor

De acordo com Martens e Tormod (1989) vários métodos de pré-tratamento vêm sendo utilizados para evitar distorções e erros no modelo, pois uma parte da informação espectral pode não se correlacionar diretamente com a propriedade da madeira. Um exemplo de pré-tratamento é a 1ª derivada da informação espectral, que é utilizada com mais frequência para uma melhor definição de picos sobrepostos em uma mesma região do espectro. A Figura 5.67 evidencia as características dos espectros originais após o tratamento matemático de 1ª derivada. Pasquini (2003) explica que o objetivo da transformação dos dados originais com pré-tratamento é fazer com que eles fiquem mais simetricamente distribuídos e também corrigir a forma de relação entre X e Y, para que os modelos se ajustem melhor e forneçam maior precisão.

### 5.5.2 - Análise de componentes principais (PCA)

Inicialmente, a análise de componentes principais (PCA) foi realizada para entender melhor a semelhança espectral entre as amostras, de forma a identificar possíveis *outliers* e outras inconsistências que possam ter ocorrido na aquisição dos espectros.

Essa análise também foi realizada para avaliar o comportamento das espécies que originaram os espectros. O gráfico de *Scores* para as 360 amostras, na Figura 5.68, apresenta uma separação entre as espécies marupá, angelim vermelho, embira de sapo e maçaranduba do grupo em relação as outras quatorze espécies que se sobrepõem. É possível identificar

espécies que apresentaram características semelhantes, demonstrando que a análise de componentes principais em NIR pode ser utilizada para agrupamento ou separação de espécies ou até mesmo para a identificação de cada uma. Este comportamento foi verificado no trabalho de Rosso (2010), avaliando as faces radiais, tangenciais e transversais das madeiras de *Eucalyptus* spp. e no estudo de Milagres et al. (2013) avaliando as diferentes idades das madeiras de *Eucalyptus* sp.

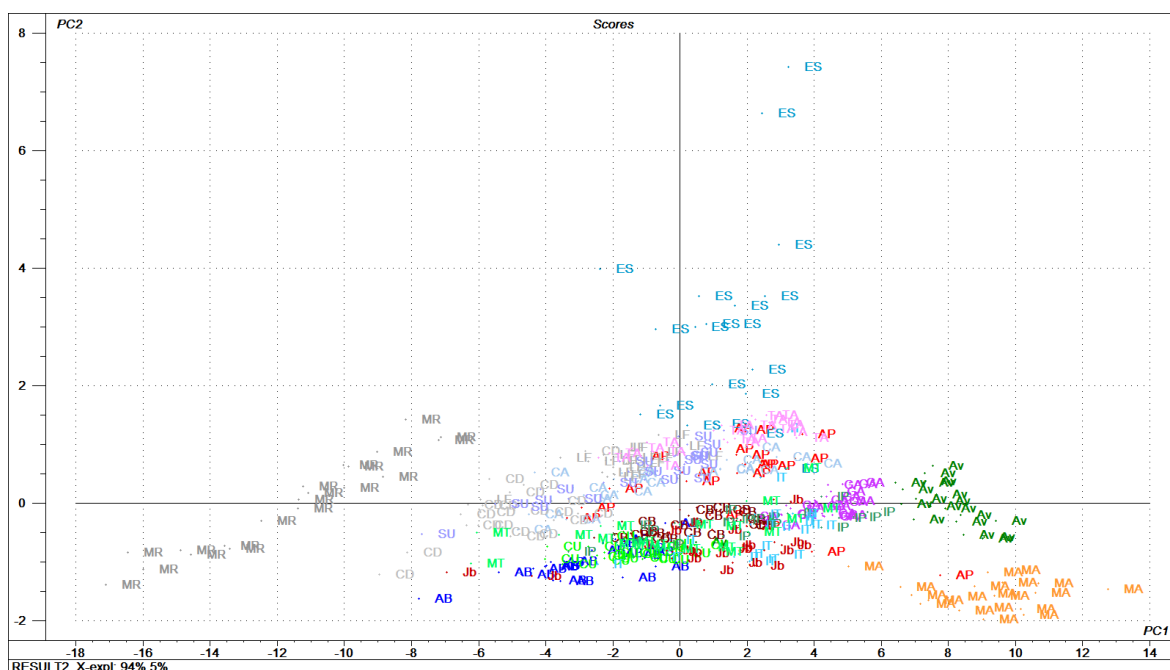


Figura 5.68 – PCA mostrando semelhanças nos espectros médios de cada espécie florestal (CA – cambará; CU – cupiúba; IT – itaúba; AP – angelim pedra; MA – maçaranduba; GA – garapeira; CB – cumarú; MR – marupá; CD – cedrorana; TA – tauari; JB – jatobá; AV – angelim vermelho; IP – ipê; AB – abiurana; MT – muiracatiara; SU – sucupira; LF – louro faia; ES – embira de sapo).

Para os espectros obtidos a partir das 18 espécies é possível verificar que a componente principal 1 (CP1) explica 94% da variabilidade dos dados e a componente principal 2 (CP2) explica 5%. As duas componentes principais (PC1 e PC2) respondem por 99% da variabilidade dos dados analisados. Hein (2008) para os espectros a partir da madeira bruta de eucalipto utilizou 5 componentes principais para explicar 100% da variabilidade dos dados, sendo que as componentes PC1, PC2, PC3 respondiam respectivamente por 65%, 36% e 6%.

De acordo com Milagres et al. (2013) existem algumas ferramentas gráficas que auxiliam na detecção de *outliers* como, por exemplo, a variância residual que mostra a distância de um objeto ao modelo, e o “*leverage*”, que mostra quanto um objeto influencia no modelo.

Objetos com alto valor “*leverage*” podem alterar a orientação de uma componente do modelo, enquanto um valor pequeno indica que a amostra em questão tem pouca influência na construção do modelo de calibração.

Na Figura 5.69 podem ser observadas duas amostras (ES – embira de sapo) se destacando das demais com alto *leverage*, essas informações de acordo com Sousa (2008) mostram a importância da PCA antes do desenvolvimento do modelo de calibração, auxiliando na calibração de modelos mais robustos com menos *outliers* e mais precisos na predição de novas amostras.

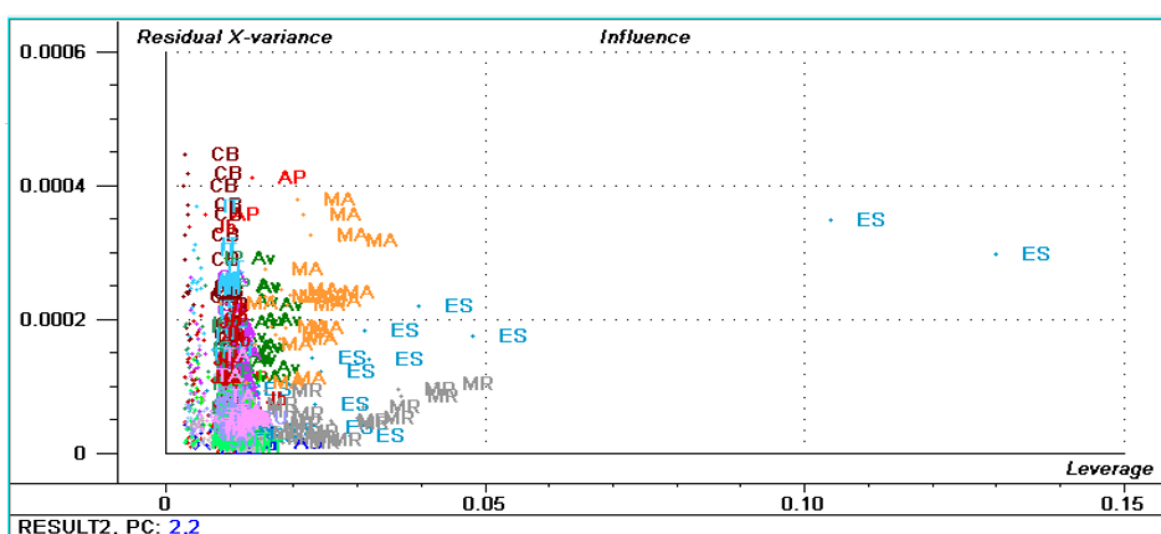


Figura 5.69 – Variância residual versus leverage das 360 amostras estudadas.

### 5.5.3 - Predição das propriedades tecnológicas das madeiras avaliadas

Na Tabela 5.8 são apresentados os resultados das propriedades anatômicas, físicas e mecânicas das dezoito espécies em estudo. Foram mensurados o comprimento das fibras, a densidade básica da madeira, as retratibilidades (radial, tangencial e volumétrica), o módulo de ruptura e o módulo de elasticidade.

Tabela 5.8 – Estatística descritiva das propriedades anatômicas, físicas e mecânicas das 18 espécies utilizadas como referências para as calibrações.

	CF	DB	Rr	Rt	Rv	MOR	MOE
	(mm)	(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)	(MPa)	(MPa)
Méd.	1,52	0,65	4,93	7,31	12,42	95,9	13121,9
Máx.	2,97	1,01	11,13	14,83	21,63	206,08	25432,3
Mín.	0,73	0,31	1,96	2,18	4,86	19,7	3814,85
D.P.	0,43	0,16	1,52	1,97	2,86	32,33	3740,78
CV (%)	28,55	24,27	30,91	26,94	23,07	33,71	28,51
N.	360	360	360	360	360	360	360

CF – Comprimento da fibra; DB – Densidade básica; Rr- Retratibilidade radial; Rt – Retratibilidade tangencial; Rv – Retratibilidade volumétrica; MOR – Módulo de ruptura à flexão estática; MOE – Módulo de elasticidade à flexão estática; Méd. – Média; Máx. – Máximo; Mín. – Mínimo; D.P. – Desvio Padrão; C.V – Coeficiente de Variação e N. – Número de amostras.

O comprimento das fibras variou significativamente, com valores entre 0,73 mm e 2,97 mm, com média de 1,52 mm e coeficiente de variação de 28,55%. A densidade também variou, apresentando valor médio de 0,65 g/cm<sup>3</sup>. As retratibilidades radial, tangencial e volumétrica apresentaram variação média de 4,93%, 7,31% e 12,42% respectivamente. O módulo de ruptura médio foi de 95,90 MPa, com alto coeficiente de variação (33,71%) e o módulo de elasticidade médio de 13.121 MPa, com valor mínimo de 3.814 MPa e máximo de 25.432 MPa e coeficiente de variação de 28,51%.

De acordo com Hein (2008), é importante notar a amplitude de variação nos valores das propriedades da madeira, pois é com base nestes valores que serão ajustadas as calibrações. Ainda segundo o autor, como as calibrações NIRS realizadas por meio da regressão PLS, não permitem extrapolações, é necessário que as amostras do lote de calibração representem todo o lote de amostras a serem analisadas.

Os parâmetros de seleção dos modelos das calibrações NIR para a estimativa do comprimento das fibras, densidade básica, retratibilidades, módulos de ruptura e elasticidade são apresentados nas Tabelas 5.9 a 5.15. Segundo Braz (2014) e Viana et al. (2016) é por meio dos altos valores do coeficiente de determinação R<sup>2</sup>c e R<sup>2</sup>v, da relação de desempenho do desvio RPD e dos baixos valores de erro (RMSEC erro padrão da calibração e RMSEV erro padrão da validação cruzada) que se mede a eficiência da calibração e é verificada a precisão do modelo.

O coeficiente de determinação R<sup>2</sup> indica o grau de relação (ligação/associação) entre os valores de referência obtidos pelos métodos convencionais e os valores preditos nos modelos



gerados, devendo se aproximar de 1. Já o RPD superior a 1,5 é considerado satisfatório para as leituras e predições preliminares (WILLIAMS e SOBERING, 1993; SCHIMLECK et al., 2003a; WILLIAMS, 2014; BRAZ, 2014).

#### 5.5.4 - Calibração e validação para o comprimento de fibra

Na Tabela 5.9 são apresentadas as calibrações para prever o comprimento de fibra das espécies florestais, com espectros obtidos na face tangencial, em madeira sólida com validação cruzada.

Tabela 5.9 – Calibrações e validações para estimativa do comprimento das fibras da madeira das espécies estudadas

Modelo	Rotina	Trat. Mat.	<i>Outliers</i>	R <sup>2</sup> c	RMSEC (mm)	R <sup>2</sup> v	RMSEV (mm)	LV	RPD
1	1	-	-	0,52	0,298	0,46	0,318	8	1,36
2	2	-	3	0,52	0,288	0,45	0,311	8	1,39
3	3	-	3	0,41	0,322	0,37	0,330	6	1,31
4	1	Snv + 1 d	-	0,72	0,225	0,69	0,241	8	1,80
5	2	Snv + 1 d	4	0,75	0,207	0,69	0,232	8	1,86
<b>6</b>	<b>3</b>	<b>Snv + 1 d</b>	<b>4</b>	<b>0,76</b>	<b>0,202</b>	<b>0,74</b>	<b>0,214</b>	<b>8</b>	<b>2,03</b>

Tratamento matemático - snv - Standard normal variate; 1d - primeira derivada; *Outlier* - número de amostras descartadas em porcentagem (%); R<sup>2</sup>c - coeficiente de determinação da calibração; RMSEC - erro padrão da calibração; R<sup>2</sup>v - coeficiente de determinação da validação; RMSEV - erro padrão da validação; LV - número de variáveis latentes; RPD - relação de desempenho do desvio.

Na calibração dos modelos para prever o comprimento das fibras foram realizadas seis rotinas, sendo que a rotina três com tratamento matemático dos dados foi a calibração com o melhor desempenho. O modelo ajustado forneceu um coeficiente de determinação de calibração de 0,76 (R<sup>2</sup>c) e de validação de 0,74 (R<sup>2</sup>v), retirada de 4 *outliers* e relação de desempenho do desvio de 2,03 (RPD) com 8 variáveis latentes (LV).

Magalhães et al. (2005) determinaram as propriedades químicas e anatômicas de *Pinus maximinoi* procedentes de Ponta Grosso-PR com uso do NIR em conjunto com a regressão por mínimos quadrados parciais (PLS) com vinte amostras. Os autores calibraram os modelos a partir dos espectros médios, com coeficiente de correlação (R<sup>2</sup>) para o comprimento da fibra (traqueídeos) de 0,40, erro de calibração (SEC) 0,15 e erro padrão de cruzamento validação (SECV) 0,29, sendo esses resultados as menores correlações obtidas no trabalho. Atribuíram tais resultados à forma de preparo das amostras, pois as mesmas foram moídas, prejudicando a previsão do comprimento (média 2,69mm).

Viana et al. (2009) avaliando as características morfológicas e da densidade básica da madeira de cinco clones de *Eucalyptus* pela técnica NIR (face transversal), encontraram calibração de modelos gerados para comprimento de fibra com coeficiente de correlação de validação cruzada ( $R^2v$ ) entre 0,61 e 0,89 e relação de performance de erro (RPD) de 1,2 até 2,3. O modelo gerado para o clone 7074, utilizando três fatores PLS e tratamento de primeira derivada, gerou os valores: 0,94 e 0,89 para a correlação de coeficientes de calibração e validação cruzada ( $R^2c$  e  $R^2v$ ), respectivamente, 0,044 mm para erro padrão de cruzamento validação (SECV) e 2,3 para o desvio de desempenho de relação (RPD).

Inagaki et al. (2012) avaliaram a densidade e o comprimento da fibra de clones de *Eucalyptus camaldulensis* por meio do NIR. Sendo a primeira vez que o comprimento da fibra da madeira maciça de *E. camaldulensis* pode ser previsto com alta precisão e que a relação de desempenho para desvio (RPD) obtidas são as primeiras que cumprem plenamente os requisitos do método para rastreio em programas de melhoramento ( $RPD \geq 2,5$ ). Os RPDs para validação cruzada (validação de conjuntos de teste) dos modelos NIR-PLS-R de 3,3 (3,8) para densidade 3,5 (3,9) para comprimento de fibra permitiram concluir que os modelos são pelo menos aplicáveis para triagem ( $RPD \geq 2,5$ ) e controle de qualidade ( $RPD \geq 5$ ). Mesmo quando foi retirado 40% das amostras na validação cruzada do modelo de densidade, a RPD foi de 3,2, o que confirma que o modelo foi robusto, estável e bem qualificado para predição.

Na Figura 5.70 encontra-se o gráfico que relaciona os valores reais (mensurados em laboratório) e os valores preditos por NIR da calibração do modelo para a variável CF (comprimento de fibra).

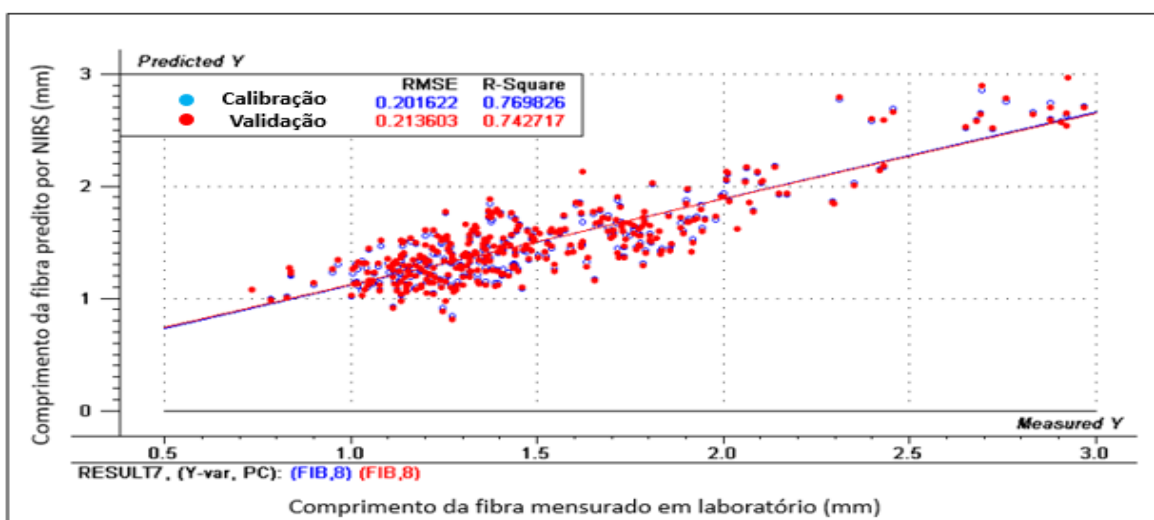


Figura 5.70 – Calibração e validação cruzada do modelo para o comprimento médio das fibras das 18 espécies em estudo obtidas em laboratório pelos métodos tradicionais e preditos por NIR.

Ao analisar a figura 5.70 onde estão representados os valores mensurados em laboratório e preditos pelo NIR é possível verificar a proximidade dos valores através da forte correlação dos dados ( $R^2_{cv} = 0,74$ ) e do baixo erro padrão da validação (0,21 mm), indicando que esta técnica pode ser utilizada para a predição do comprimento das fibras das espécies estudadas, com um modelo robusto e de forma rápida e eficiente.

### 5.5.5 - Calibração e validação para a densidade básica (DB)

As calibrações para prever a densidade básica da madeira são apresentadas na Tabela 5.10, com espectros obtidos na face tangencial das amostras, em madeira sólida com validação cruzada.

Tabela 5.10 – Calibrações e validações para estimativa a densidade da madeira das espécies estudadas

Modelo	Rotina	Trat. Mat.	Outliers	R <sup>2</sup> c	RMSEC (g/cm <sup>3</sup> )	R <sup>2</sup> cv	RMSECV (g/cm <sup>3</sup> )	LV	RPD
1	1	-	-	0,89	0,0519	0,88	0,0553	8	2,86
2	2	-	4	0,90	0,0489	0,89	0,0514	8	3,07
3	3	-	4	0,87	0,0563	0,86	0,0575	5	2,75
4	1	S <sub>nv</sub> + 1 d	-	0,91	0,0469	0,89	0,0503	7	3,14
5	2	S <sub>nv</sub> + 1 d	3	0,91	0,0448	0,90	0,0486	7	3,25
<b>6</b>	<b>3</b>	<b>S<sub>nv</sub> + 1 d</b>	<b>3</b>	<b>0,91</b>	<b>0,0448</b>	<b>0,90</b>	<b>0,0477</b>	<b>7</b>	<b>3,31</b>

Tratamento matemático - s<sub>nv</sub> - Standard normal variate; 1d - primeira derivada; *Outlier* - número de amostras descartadas em porcentagem (%); R<sup>2</sup>c - coeficiente de determinação da calibração; RMSEC - erro padrão da calibração; R<sup>2</sup>v - coeficiente de determinação da validação; RMSEV - erro padrão da validação; LV - número de variáveis latentes; RPD - relação de desempenho do desvio.

Na calibração dos modelos para prever a densidade básica o modelo ajustado com o melhor desempenho forneceu um coeficiente de determinação de calibração de 0,91 e de validação de 0,90. Foram retirados 3 *outliers*, o erro padrão da validação foi de 0,047 e relação de performance de erro (RPD) foi 3,31, considerado alto, e utilizou 7 variáveis latentes (LV).

Hein (2008) encontrou valores menores em relação a esta pesquisa, estudando *Eucalyptus urophylla* para a face tangencial com coeficiente de determinação de calibração de 0,74 e de validação de 0,71, retirados 5 *outliers*, e relação de performance de erro (RPD) foi 1,9 com 5 variáveis latentes (LV). Já Ribeiro (2009) analisando as faces da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* encontrou que a face que melhor prediz os valores de densidade básica foi a face tangencial, tanto na validação cruzada, quanto na validação independente, realizando a calibração do modelo para *Eucalyptus* com 2 LV e utilizando a técnica do PLS obteve  $R^2$  de 0,64 para a calibração e 0,50 para a validação cruzada e para *Pinus* com 5 LV obteve  $R^2$  de 0,95 para a calibração e 0,75 para a validação independente.

Viana et al. (2009) avaliando as características morfológicas e densidade básica da madeira de cinco clones de *Eucalyptus* pela técnica NIR (face transversal), obtiveram ótima calibração para a densidade básica da madeira, com valores de coeficientes de determinação na validação cruzada ( $R^2_{cv}$ ) de 0,95 e relação de desempenho do desvio (RPD) de 3,4 para o clone 57, concluindo que a técnica NIR se mostrou eficiente para a predição da densidade básica. Viana et al. (2010), avaliando as características químicas e densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus* plantados em quatro regiões de Minas Gerais, calibraram a densidade básica média e encontraram  $R^2$  variando de 0,80 a 0,99 na calibração e  $R^2$  de 0,56 a 0,97 na validação, de 3 a 10 LV, e RPD entre 1,1 e 4,7.

Hein et al. (2009a) avaliaram a eficiência da técnica NIR para estimativa da densidade básica da madeira de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*. Os coeficientes de determinação dos modelos de predição  $R^2_{cv}$  oscilaram entre 0,74 e 0,86 e o RPD variou entre 1,9 e 2. A aplicação de filtro espectral, a detecção e descarte de amostras anômalas (*outliers*) e a seleção de variáveis (comprimento de ondas) melhoraram o ajuste das calibrações, reduzindo SEC e SECV, e aumentando  $R^2$  e a RPD. Desta forma, a técnica pode ser utilizada para estimar a densidade básica da madeira de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*.

Santos et al. (2009) desenvolveram modelos de calibração multivariada, com espectros infravermelhos próximos (NIR), para predição da densidade utilizando 30 amostras de madeira, com teores de umidade de 33% e 10%. Para os modelos multivariados foram retiradas, respectivamente, como “*outliers*”, cinco e seis amostras nos dois teores de umidade. Foram obtidas correlações elevadas, de 97%, e baixos RMSEP de 7,7 e 7,8 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente, dos dois teores de umidade. Concluíram a partir dos resultados a alta precisão obtida na predição da densidade básica, utilizando diretamente os cavacos para obtenção de espectros NIR.

Hein et al. (2010) estimaram propriedades da madeira de *Eucalyptus* por meio de calibrações baseadas na técnica NIR. Para a densidade básica o modelo que apresentou melhor ajuste foi o baseado na primeira derivada da informação espectral, com R<sup>2</sup>c de 0,81 e R<sup>2</sup>cv de 0,78 e RPD de 2,15. Os resultados alcançados indicaram que a densidade básica da madeira de *Eucalyptus* é uma característica que pode ser predita por meio da técnica NIR.

Rosso et al. (2013) ajustaram modelos para prever a massa específica de *Eucalyptus grandis* de 66 árvores aos 27 anos de idade na face radial. Encontraram coeficiente de determinação de calibração de 0,78 e de validação de 0,74, foram retirados 3 *outliers*, e a relação de performance de erro (RPD) foi 2,29 com 6 variáveis latentes (LV). Os mesmos autores afirmaram que estatísticas associadas aos modelos preditivos apresentaram magnitudes adequadas para estimar a densidade da madeira de amostras desconhecidas, indicando que a técnica tem potencial para substituir os ensaios convencionais.

Milagres et al. (2013) desenvolveram modelos para prever as propriedades de densidade básica, teores de lignina e extrativos das madeiras de *Eucalyptus*, com idades variando de 3 a 7 anos. Os modelos desenvolvidos resultaram em consideráveis coeficientes de determinação para densidade básica, sendo o melhor modelo com idade de 3 a 7 anos e R<sup>2</sup>c igual 0,89, R<sup>2</sup>cv igual 0,83, LV igual 7, *outliers* igual 3 e RPD igual 2,41.

Braz (2014) desenvolveu modelos para prever as características físicas e mecânicas de *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* para avaliar a qualidade da madeira. Para a densidade básica o autor encontrou alta correlação entre os valores mensurados em laboratório (60 amostras) e os preditos pela técnica NIR (face radial). Obteve

coeficientes de determinação  $R^2$  na calibração de 0,85 e validação de 0,73, utilizou 10 LV e RPD de 1,17 e afirmou que o modelo obtido prediz a densidade básica das espécies.

Diversas pesquisas foram desenvolvidas nos últimos anos para estimar a densidade básica da madeira baseada em modelos matemáticos calibrados com PLS utilizando a técnica NIR espectroscopia no infravermelho próximo, calibraram e validaram os modelos com ótimos coeficientes de determinação e RPD (HEIN et al., 2009b; HEIN, 2010; ROSSO, 2010; GOUVÊA et al., 2011; PIGOZZO, 2011; SANTOS et al., 2012; HEIN, 2012; DIESEL et al., 2014).

Na Figura 5.71 encontra-se o gráfico que relaciona os valores reais (mensurados em laboratório) e os valores preditos por espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) da calibração do modelo para a variável DB (densidade básica) das 18 espécies estudadas.

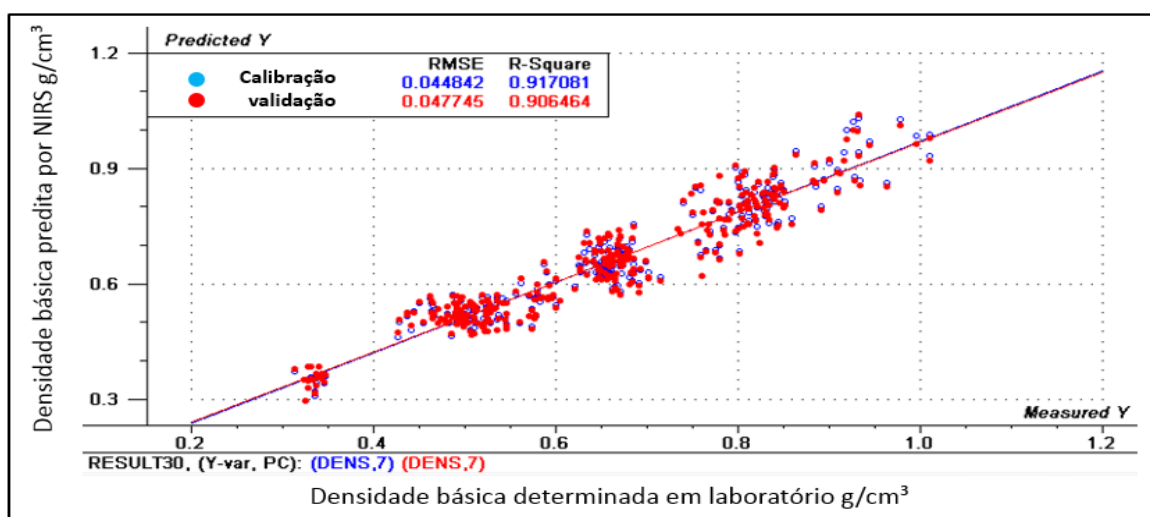


Figura 5.71 – Calibração e validação cruzada do modelo para a densidade básica das 18 espécies em estudo mensuradas no laboratório pelos métodos tradicionais e preditos por NIR.

Na figura 5.71 nota-se a sobreposição das retas e a grande proximidade dos valores mensurados e preditos, existe forte correlação na validação do modelo com  $R^2_{cv}$  de 0,90, evidenciando a robustez do modelo, a técnica NIR é eficiente para prever a densidade da madeira das dezoito espécies tropicais estudadas.

### 5.5.6 - Calibração e validação para a estabilidade dimensional

As calibrações para prever as reprodutibilidades radial, tangencial e volumétrica da madeira são apresentadas na Tabela 5.11, 5.12 e 5.13 com espectros obtidos na face tangencial das amostras, em madeira sólida com validação cruzada das 18 espécies estudadas.

Tabela 5.11 – Calibrações e validações para a estimativa da reprodutibilidade radial da madeira das espécies estudadas

Modelo	Rotina	Trat. Mat.	<i>Outliers</i>	R <sup>2</sup> c	RMSEC (%)	R <sup>2</sup> v	RMSEV (%)	LV	RPD
1	1	-	-	0,36	1,2085	0,32	1,259	8	1,21
2	2	-	1	0,37	1,1748	0,32	1,2283	8	1,24
3	3	-	1	0,36	1,1826	0,35	1,2015	7	1,27
4	1	Snv + 1 d	-	0,51	1,0584	0,42	1,1573	8	1,32
5	2	Snv + 1 d	6	0,58	0,9442	0,5	1,0259	8	1,48
<b>6</b>	<b>3</b>	<b>Snv + 1 d</b>	<b>6</b>	<b>0,59</b>	<b>0,9347</b>	<b>0,53</b>	<b>0,9974</b>	<b>8</b>	<b>1,53</b>

Tratamento matemático - snv - Standard normal variate; 1d - primeira derivada; *Outlier* - número de amostras descartadas em porcentagem (%); R<sup>2</sup>c - coeficiente de determinação da calibração; RMSEC - erro padrão da calibração; R<sup>2</sup>v - coeficiente de determinação da validação; RMSEV - erro padrão da validação; LV - número de variáveis latentes; RPD - relação de desempenho do desvio.

A calibração com melhor desempenho para prever a reprodutibilidade radial foi ajustada com um coeficiente de determinação de 0,59 para o lote de calibração e de 0,53 para validação cruzada, foram retiradas 6 amostras *outliers* e utilizadas 8 variáveis latentes. A relação de desempenho do desvio (1,53) foi satisfatória.

A calibração para prever a reprodutibilidade radial da madeira não alcançou bons resultados, porém, foi possível validar os modelos, mesmo com baixos valores de R<sup>2</sup>c e R<sup>2</sup>cv e alto valor do erro padrão da calibração (RMSEC). Ainda que exista uma correlação da reprodutibilidade radial (RR) com as informações espectrais 0,53, novas pesquisas devem ser realizadas com o intuito de verificar uma melhor resposta da reprodutibilidade radial em relação a técnica NIR.

Tabela 5.12 – Calibrações e validações para a estimativa da reprodutibilidade tangencial da madeira das espécies estudadas

Modelo	Rotina	Trat. Mat.	<i>Outliers</i>	R <sup>2</sup> c	RMSEC (%)	R <sup>2</sup> v	RMSEV (%)	LV	RPD
1	1	-	-	0,37	1,5497	0,33	1,6083	8	1,23
2	2	-	3	0,38	1,477	0,32	1,5422	8	1,28
3	3	-	3	0,41	1,4406	0,36	1,4949	8	1,32
4	1	Snv + 1 d	-	0,53	1,3482	0,46	1,4403	7	1,37
5	2	Snv + 1 d	7	0,61	1,1755	0,53	1,2932	8	1,52
<b>6</b>	<b>3</b>	<b>Snv + 1 d</b>	<b>5</b>	<b>0,65</b>	<b>1,1106</b>	<b>0,62</b>	<b>1,1613</b>	<b>7</b>	<b>1,69</b>

Tratamento matemático - snv - Standard normal variate; 1d - primeira derivada; *Outlier* - número de amostras descartadas em porcentagem (%); R<sup>2</sup>c - coeficiente de determinação da calibração; RMSEC - erro padrão da calibração; R<sup>2</sup>v - coeficiente de determinação da validação; RMSEV - erro padrão da validação; LV - número de variáveis latentes; RPD - relação de desempenho do desvio.

Na reprodutibilidade tangencial a calibração com melhor desempenho para prever os valores reais foi ajustada com coeficiente de determinação de 0,65 para o lote de calibração e de 0,62 para validação cruzada, a relação de desempenho do desvio (1,69) foi satisfatória. A análise dos resultados permite verificar que, com a retirada de 5 *Outliers* e ao utilizar 7 variáveis latentes o modelo se torna mais robusto que para a reprodutibilidade radial.

Tabela 5.13 – Calibrações e validações para a estimativa da reprodutibilidade volumétrica da madeira das espécies estudadas

Modelo	Rotina	Trat. Mat.	<i>Outliers</i>	R <sup>2</sup> c	RMSEC (%)	R <sup>2</sup> v	RMSEV (%)	LV	RPD
1	1	-	-	0,4	2,2074	0,36	2,2982	8	1,25
2	2	-	6	0,45	2,0059	0,42	2,0679	8	1,39
3	3	-	6	0,47	1,9697	0,42	2,0637	8	1,39
4	1	Snv + 1 d	-	0,58	1,8469	0,48	2,0549	8	1,39
5	2	Snv + 1 d	5	0,66	1,6176	0,61	1,7266	8	1,66
<b>6</b>	<b>3</b>	<b>Snv + 1 d</b>	<b>5</b>	<b>0,67</b>	<b>1,584</b>	<b>0,63</b>	<b>1,6935</b>	<b>8</b>	<b>1,69</b>

Tratamento matemático - snv - Standard normal variate; 1d - primeira derivada; *Outlier* - número de amostras descartadas em porcentagem (%); R<sup>2</sup>c - coeficiente de determinação da calibração; RMSEC - erro padrão da calibração; R<sup>2</sup>v - coeficiente de determinação da validação; RMSEV - erro padrão da validação; LV - número de variáveis latentes; RPD - relação de desempenho do desvio.

Para a predição da reprodutibilidade volumétrica a calibração forneceu equações satisfatórias. As calibrações apresentaram coeficiente de determinação R<sup>2</sup>c de 0,67 e de R<sup>2</sup>cv 0,63 e relação de desempenho do desvio 1,69.

Nas Figuras 5.72, 5.73 e 5.74 observam-se os gráficos que relacionam os valores reais (mensurados) e os preditos por infravermelho próximo (NIRS) da calibração do modelo para as variáveis RR, RT e RV (reprodutibilidade radial, reprodutibilidade tangencial e reprodutibilidade volumétrica).



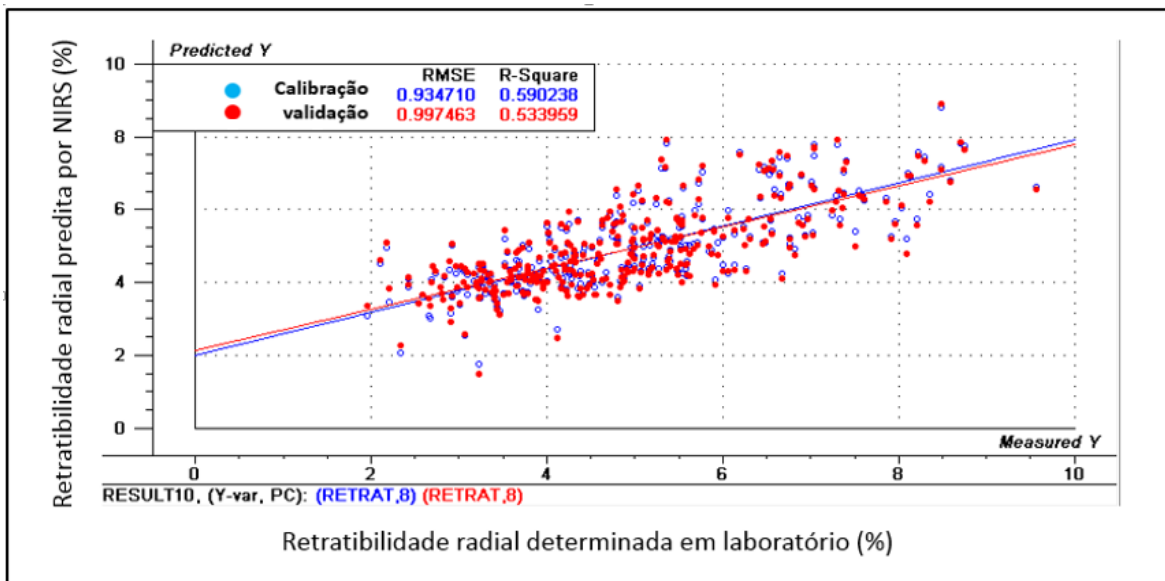


Figura 5.72 – Calibração e validação cruzada do modelo para a reatibilidade radial das 18 espécies em estudo mensuradas no laboratório pelos métodos tradicionais e preditos por NIR.

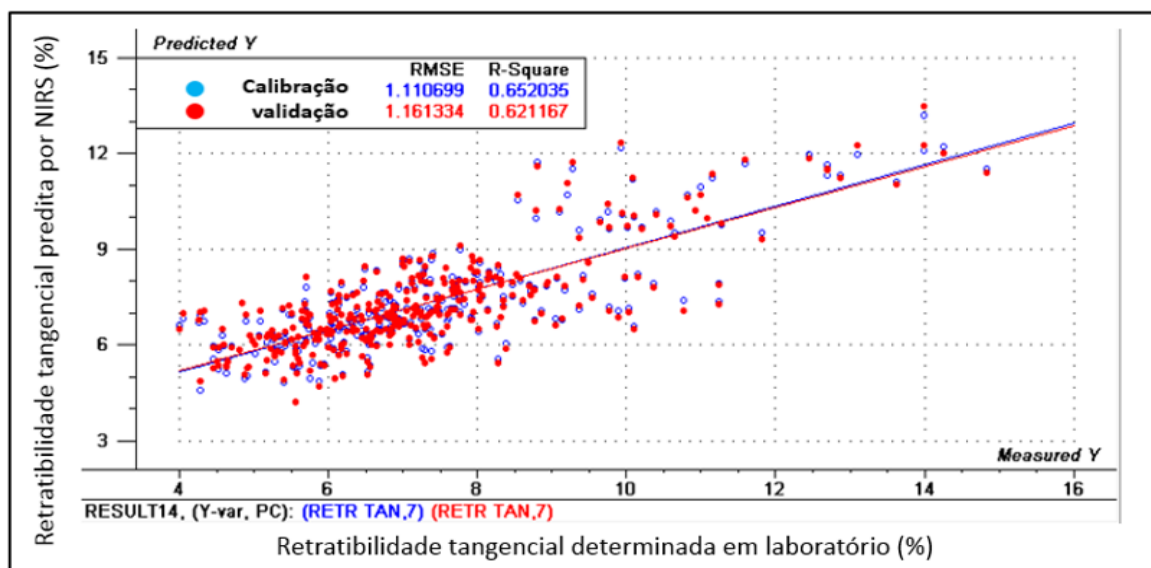


Figura 5.73 – Calibração e validação cruzada do modelo para a reatibilidade tangencial das 18 espécies em estudo mensuradas no laboratório pelos métodos tradicionais e preditos por NIR.

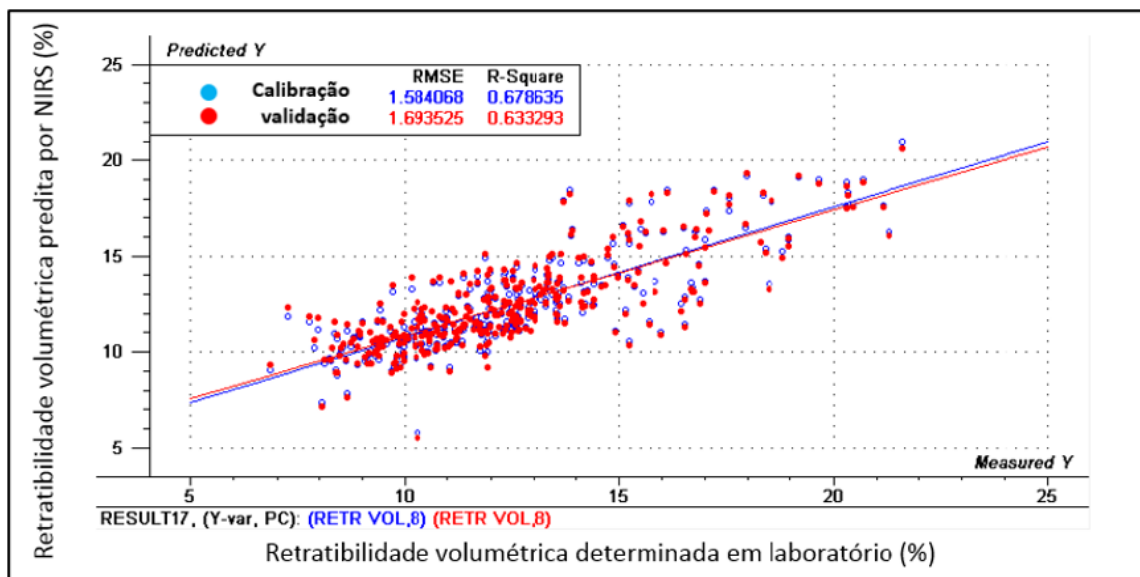


Figura 5.74 – Calibração e validação cruzada do modelo para a reatibilidade volumétrica das 18 espécies em estudo mensuradas no laboratório pelos de métodos tradicionais e preditos por NIR.

Nas figuras 5.72, 5.73 e 5.74 é possível verificar uma associação entre os valores preditos e mensurados para a estabilidade dimensional da madeira, sendo que o melhor desempenho na calibração e validação do modelo foi para reatibilidade volumétrica. Com isto, é possível inferir que a estabilidade dimensional da madeira pode ser prevista de forma ágil pela técnica de espectroscopia no infravermelho próximo.

Taylor et al. (2008) avaliaram estabilidade dimensional da madeira de Mogno (*Swietenia macrophylla*) baseada na técnica NIR. Foi determinada a densidade, reatibilidade volumétrica e extrativos como referência e coletados os espectros de 57 amostras (33 amostras para calibração e 24 para validação independente). Para a reatibilidade volumétrica os modelos baseados nos dados espectrais completos forneceram boa calibração com coeficiente de determinação  $R^2$  de 0,67 na validação independente e com 9 variáveis latentes. Os autores afirmam que os espectros de NIRS forneceram boas previsões de reatibilidade volumétrica.

Ribeiro (2009) utilizando técnicas não destrutivas para a caracterização de *Pinus caribaea* e *Eucalyptus grandis* analisou a reatibilidade volumétrica por NIRS. Observou que a validação do modelo para *Eucalyptus* pode ser realizado tanto na face radial quanto na tangencial da madeira e para o *Pinus* apenas na face tangencial. Para *Eucalyptus* a calibração do modelo com 2 LV na face tangencial obteve  $R^2c$  de 0,83 e  $R^2cv$  na validação cruzada de

0,37. Para a face radial o coeficiente de determinação foi  $R^2c$  de 0,74 e  $R^2cv$  de 0,47. Já a espécie *Pinus caribaea* obteve boa calibração do modelo apenas na face tangencial com  $R^2c$  0,69 e  $R^2cv$  cruzada 0,49 com 2 LV. A autora afirma que não encontrou os resultados esperados e sugere aumentar o número de amostras para a construção do modelo.

Kokutse et al. (2010) avaliaram estabilidade dimensional da madeira de Teca (*Tectona grandis*) baseada na espectroscopia no infravermelho próximo. Determinaram as retratibilidades radial e tangencial como método de referência e coletaram os espectros de 393 (293 para validação cruzada e 100 para validação independente) amostras mensuradas na face longitudinal-radial e longitudinal-tangencial. Os modelos para madeira sólida foram significativos com coeficientes de determinação  $R^2$  na validação independente maiores ou iguais a 0,67 e relação de desempenho do desvio acima de 1,8 (Tabela 5.14). Os modelos calculados com a face longitudinal-tangencial apresentaram melhor desempenho que na face longitudinal-radial. Os resultados deste estudo demonstraram que é possível utilização de NIR para medir a estabilidade dimensional da madeira de teca.

Tabela 5.14 – Validação independente dos modelos para a madeira maciça de Teca nas faces radial e tangencial

<b>NIR surface</b>	<b>Properties</b>	<b>N</b>	<b>Outliers</b>	<b>M</b>	<b>SD</b>	<b>SEP</b>	<b><math>r^2</math></b>	<b>RPD</b>
LR	Radial shrinkage	100	1	3.21	0.65	0.37	0.67	1.8
	Tangential shrinkage	100	3	5.68	1.27	0.60	0.78	2.1
	Fibre saturation point	100	0	20.48	1.95	0.84	0.84	2.3
TR	Radial shrinkage	100	3	3.21	0.65	0.36	0.72	1.8
	Tangential shrinkage	100	4	5.64	1.27	0.52	0.83	2.4
	Fibre saturation point	100	5	20.58	1.91	0.68	0.87	2.8

Fonte: Kokutse et al. (2010)

Chaix et al. (2010) avaliaram a predição da retratibilidade radial e tangencial de Teca e Âmbar por NIR. O resultado mostrou o possível uso da técnica NIR para a predição da estabilidade dimensional e os melhores modelos foram gerados a partir dos espectros na face transversal para a teca e na face tangencial para o Âmbar. Para a Teca e Âmbar os modelos de predição para retratibilidade tangencial foram mais eficientes. Para Teca o  $R^2$  foi de 0,83 e RPD de 2,4 e para Âmbar o  $R^2$  foi de 0,85 e RPD de 2,5. Após validação independente e validação cruzada, respectivamente, para a madeira de Teca e de Âmbar, assumiu-se que a técnica NIR pode ser utilizada para prever a retratibilidade tangencial e radial para análises preliminares.

Braz (2014) desenvolveu modelos de predição NIR para a contração radial, tangencial e volumétrica de *Eucalyptus* e de modo geral as calibrações não apresentaram bom desempenho. Os valores obtidos para os coeficientes de determinação e relação do desempenho do desvio não foram satisfatórios. Para a contração radial o modelo calibrado com 1 LV obteve um R<sup>2</sup>c de 0,12 para a calibração e R<sup>2</sup>cv de 0,01 na validação cruzada, na contração tangencial o modelo foi desenvolvido com 7 LV obteve um R<sup>2</sup>c de 0,71 para a calibração e R<sup>2</sup>cv de 0,51 e a contração volumétrica com 4 LV obteve um R<sup>2</sup>c de 0,60 para a calibração e R<sup>2</sup>cv de 0,36. Com os resultados em relação às variações dimensionais as calibrações não apresentaram bons indicadores.

### 5.5.7 - Calibração e validação para o Módulo de Ruptura da madeira (MOR) e Módulo de Elasticidade (MOE)

As calibrações para prever o módulo de ruptura e o módulo de elasticidade da madeira obtidos nos ensaios de flexão estática são apresentadas nas Tabelas 5.15 e 5.16 respectivamente, com espectros obtidos na face tangencial das amostras com validação cruzada. De forma geral as calibrações para estimar MOR e MOE a partir da madeira sólida não foram satisfatórios, apresentando baixa correlação e baixa relação de desempenho do desvio. Quando comparados a literatura estes valores foram inferiores. Braz (2014) encontrou coeficiente de determinação na validação do modelo para MOR e MOE de 0,48 para ambos, sendo considerados baixos e próximos aos encontrados nesta pesquisa.

Tabela 5.15 – Calibrações e validações para estimativa do módulo de ruptura (MOR) em MPa da madeira das espécies estudadas

Modelo	Rotina	Trat. Mat.	Outliers	R <sup>2</sup> c	RMSEC (MPa)	R <sup>2</sup> v	RMSEV (MPa)	LV	RPD
1	1	-	-	0,31	26,776	0,26	27,7747	7	1,16
2	2	-	6	0,38	24,1981	0,34	25,1714	8	1,28
3	3	-	6	0,35	24,7322	0,32	25,4745	4	1,27
4	1	Snv + 1 d	-	0,45	23,9365	0,32	26,5404	8	1,22
5	2	Snv + 1 d	4	0,48	22,9191	0,35	25,5687	7	1,26
<b>6</b>	<b>3</b>	<b>Snv + 1 d</b>	<b>4</b>	<b>0,52</b>	<b>21,4176</b>	<b>0,44</b>	<b>23,3779</b>	<b>8</b>	<b>1,38</b>

Tratamento matemático - snv - Standard normal variate; 1d - primeira derivada; *Outlier* - número de amostras descartadas em porcentagem (%); R<sup>2</sup>c - coeficiente de determinação da calibração; RMSEC - erro padrão da calibração; R<sup>2</sup>v - coeficiente de determinação da validação; RMSEV - erro padrão da validação; LV - número de variáveis latentes; RPD - relação de desempenho do desvio.

De acordo com as Tabelas 5.15 e 5.16 nas calibrações para prever o módulo de ruptura da madeira e módulo de elasticidade, os modelos foram ajustados com um coeficiente de

determinação na validação baixo (0,44) e (0,46) e relação de desempenho do desvio (RDP=1,38 e 1,41) considerado insuficiente. Para a calibração foi utilizado um número relativamente alto de LV (8) assegurando a dimensionalidade dos dados e foram descartados os *outliers*.

Tabela 5.16 – Calibrações e validações para estimativa do módulo de elasticidade (MOE) em MPa da madeira das espécies estudadas

Modelo	Rotina	Trat. Mat.	<i>Outliers</i>	R <sup>2</sup> c	RMSEC (MPa)	R <sup>2</sup> v	RMSEV (MPa)	LV	RPD
1	1	-	-	0,3	3115,0	0,25	3242,8	8	1,15
2	2	-	4	0,34	2935,9	0,3	3050,7	8	1,23
3	3	-	4	0,34	2952,7	0,28	3071,4	5	1,22
4	1	Snv + 1 d	-	0,44	2795,1	0,36	2996,0	7	1,25
5	2	Snv + 1 d	5	0,46	2735,8	0,34	3026,1	8	1,24
<b>6</b>	<b>3</b>	<b>Snv + 1 d</b>	<b>5</b>	<b>0,53</b>	<b>2449,8</b>	<b>0,46</b>	<b>2658,0</b>	<b>8</b>	<b>1,41</b>

Tratamento matemático - snv - Standard normal variate; 1d - primeira derivada; *Outlier* - número de amostras descartadas em porcentagem (%); R<sup>2</sup>c - coeficiente de determinação da calibração; RMSEC - erro padrão da calibração; R<sup>2</sup>v - coeficiente de determinação da validação; RMSEV - erro padrão da validação; LV - número de variáveis latentes; RPD - relação de desempenho do desvio.

As Figuras 5.75 e 5.76 relacionam os valores reais obtidos em laboratório e os preditos através da técnica NIR da calibração do modelo para as variáveis MOR e MOE, respectivamente.

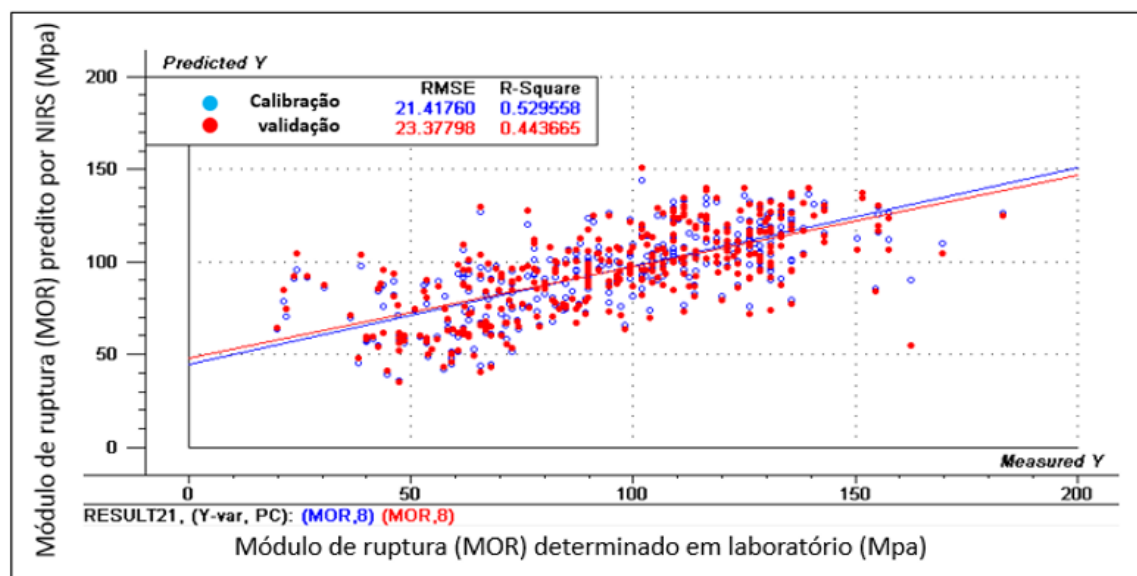


Figura 5.75 – Calibração e validação cruzada do modelo para o módulo de ruptura das 18 espécies em estudo mensuradas no laboratório pelos métodos tradicionais e preditos por NIR.

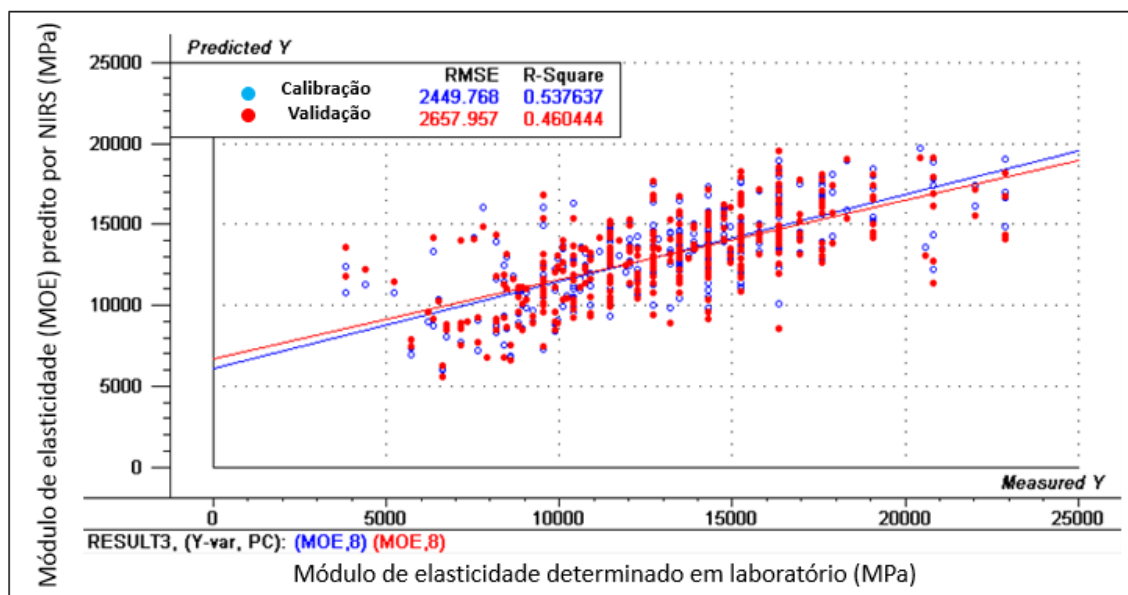


Figura 5.76 – Calibração e validação cruzada do modelo para o módulo de elasticidade das 18 espécies em estudo mensuradas no laboratório pelos métodos tradicionais e preditos por NIRS.

As figuras 5.75 e 5.76 evidenciam uma fraca correlação entre valores mensurados em laboratório e preditos pelo NIR. Os coeficientes de determinação na calibração foram baixos, contudo, foi possível validar os modelos.

Fujimoto et al. (2008) investigaram *Larix gmelinii* var. *japonica* e *Larix kaempferi* e obtiveram boas estatísticas em seus modelos baseados em NIR. Esses autores ajustaram modelos para MOE com  $R^2c = 0,84$ ,  $R^2cv = 0,73$ ,  $LV = 10$  e  $RPD = 2,33$ . Para MOR foram  $R^2c = 0,75$ ,  $R^2cv = 0,72$ ,  $LV = 8$  e  $RPD = 2,26$ . O estudo concluiu que o NIR em conjunto com as análises PLS possuem alta precisão para predizer as características mecânicas da madeira.

Ribeiro (2009) calibrou modelos por meio dos espectros NIR para predizer as características mecânicas da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea*. Para a predição do MOE na face tangencial os modelos foram ajustados com  $R^2cv$  para *Eucalyptus* de 0,23 validação cruzada e 0,55 validação externa e para *Pinus* de 0,88 validação cruzada. Para o MOR na face tangencial os modelos foram ajustados com um coeficiente de determinação para *Eucalyptus* de 0,52 calibração – não validou o modelo e para *Pinus* de 0,99 calibração – não validou o modelo. A autora concluiu que as propriedades MOE e MOR podem ser preditas pelo NIR.

Andrade et al. (2010) utilizaram a técnica NIR para calibrar as propriedades mecânicas de *Eucalyptus* sp. Foram realizados os ensaios de compressão paralela às fibras e flexão estática. Os espectros foram mensurados diretamente sobre madeira sólida e moída. A técnica NIR mostrou-se adequada para estimar o MOE obtido na face tangencial na madeira sólida com  $R^2_{cv} = 0,91$ ,  $LV = 10$  e  $RPD = 2,6$  e o MOR com  $R^2_{cv} = 0,74$ ,  $LV = 6$  e  $RPD = 1,5$ . Os resultados demonstram alta correlação e conclui-se como possível a utilização de NIRS para prever o MOE e MOR em madeira sólida.

Rosso (2010) estimando MOR e MOE de *Eucalyptus* sp. usando o NIRS, obteve boas calibrações, com coeficiente de determinação ( $R^2_{cv}$ ) de 0,65, com RPD de 1,78 (MOE face radial) e com  $R^2_{cv}$  de 0,43 com RPD de 1,40 (MOR face radial).

Diversas pesquisas foram desenvolvidas para estimar o módulo de elasticidade e o módulo de ruptura da madeira baseado em modelos matemáticos calibrados com PLS utilizando a técnica NIR para os ensaios de compressão paralela às fibras (HEIN et al., 2009c; HEIN et al., 2010; BRAZ, 2014, para módulo de elasticidade dinâmico (RAKOTOVOLOLONALIMANANA et al., 2015) e para painéis de madeira (LOPES, 2008; HEIN et al., 2009d; FERREIRA, 2010; HEIN et al., 2011; BELINI et al., 2011; BELINI, 2012).

## 6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As descrições anatômicas de vinte espécies comercializadas pelo estado de Mato Grosso mostram a complexidade das estruturas anatômicas destas madeiras, e também a riqueza de detalhes e peculiaridades que cada espécie apresenta e que são de extrema utilidade na sua identificação.

A identificação correta destas espécies florestais através dos caracteres macroscópicos e microscópicos é de fundamental importância para os programas de fiscalização e regulamentação do comércio de madeira do Estado. As dimensões das fibras, além de auxiliarem na identificação das espécies, disponibilizam características que aliadas às propriedades físicas e mecânicas da madeira irão direcionar usos mais apropriados destas madeiras.

A colorimetria quantitativa é eficiente na classificação da cor da madeira e na diferenciação entre as faces radial e tangencial das espécies, podendo inclusive agrupar madeiras de cores semelhantes para sua comercialização.

As espécies *H. courbaril*, *D. excelsa*, *T. altissima*, *E. pinnata* (amarelo amarronzado), *H. petraeum*, *P. egregia* e *V. máxima* (rosa), *M. itauba* (oliva amarelado), analisadas neste estudo através da colorimetria tem características similares de cor com outras espécies conhecidas, tomadas como padrão nas indústrias de móveis ou para utilização interiores, como por exemplo: *Swietenia macrophylla* - mogno (amarelo amarronzado), *Cedrela odorata* - cedro (rosa), *Ocotea porosa* - imbuia (oliva amarelado). As espécies mencionadas são alternativas por possuírem características colorimétricas próximas, diminuindo assim a pressão nessas espécies mais comercializadas.

A densidade das espécies variou de leve a pesada, sendo que a maioria (40%) ficaram no grupo de densidade média. Para a estabilidade dimensional da madeira é possível inferir que as espécies estudadas não apresentaram maiores problemas como rachaduras, torções e empenamentos, decorrentes de contrações diferenciadas durante a sua secagem e posterior industrialização.



A espécie *A. leiocarpa*, apresentou cheiro agradável, brilho moderado e textura fina. *C. cateniformis* apresentou brilho, cheiro e gosto imperceptível, textura média e grã direita. *P. egregia* apresentou brilho, cheiro agradável, grã direita e textura fina. As três espécies foram classificadas de média densidade e coeficiente de anisotropia de normal a excelente e podem ser indicadas para fabricação de móveis, inclusive móveis institucionais.

O Ultrassom e o *Stress wave* foram promissores para estimar o módulo de elasticidade estático (MOE) da madeira mesmo superestimando os valores. O MOE<sub>s</sub> obtido por *Stress wave* apresenta valores mais próximo do MOE estático. A velocidade de propagação de ondas (VEL) e os módulos de elasticidades dinâmicos (ultrassom e *Stress wave*) apresentaram fortes correlações.

As espécies *M. huberi*, *D. odorata*, *H. courbaril*, *D. excelsa*, *H. serratifolius* e *D. purpurea*, foram classificadas como madeiras pesadas e possuem valores elevados de módulo de ruptura e elasticidade estático, características desejáveis na construção civil.

Pela análise de componentes principais (PCA) foi possível agrupar espécies que apresentaram propriedades espectrais semelhantes, possibilitando usos similares a estas madeiras.

A técnica do infravermelho próximo (NIR) mostrou ser eficiente para predição do comprimento das fibras e da densidade básica da madeira das espécies estudadas. As melhores correlações de validação cruzada foram encontradas para estas propriedades.

No geral, as técnicas de colorimetria, ultrassom, *stress wave* e espectroscopia no infravermelho próximo demonstraram rapidez e eficiência para predizer as características das espécies e podem ser consideradas alternativas para a caracterização tecnológica das vinte espécies estudadas.

Recomenda-se a maior integração da academia (UFMT) com os órgãos de fiscalização do estado de Mato Grosso para a criação de uma xiloteca que contenha todas as espécies comercializadas bem como um banco de dados confiável destas madeiras, utilizando a técnica NIR (aparelho portátil) para auxílio na identificação das espécies.

A produção de um livro para auxiliar os órgãos governamentais, assim como as indústrias, com as vinte espécies deve ser uma meta a ser concluída em curto prazo. Sugere-se a criação de uma chave de identificação macroscópica e microscópica da madeira de todas as espécies comercializadas em Mato Grosso, para auxiliar tanto o setor madeireiro e acadêmico, quanto órgãos estaduais de fiscalização.

Recomenda-se ainda uma publicação, mostrando as espécies que são chamadas pelo mesmo nome e suas diferenças utilizando a macroscopia e microscopia (comparação entre as espécies). Como exemplo angelim (angelim, angelim pedra, angelim saia, angelim amargoso, angelim vermelho) ou cambará (cambará *Qualea*, cambará *Vochysia*, cedrinho).

Sugere-se também um estudo mais aprofundado com a espécie *Euplassa pinnata* (louro-faia), com uma maior amostragem de indivíduos, provenientes de localidades distintas para realizar a caracterização microscópica e mensuração das fibras. Esta espécie se destacou das demais em relação a seu comprimento de fibra, podendo ser utilizada em outros segmentos da indústria.

Recomenda-se estudos com as propriedades químicas e com mensuração do ângulo microfibrilar destas espécies para a predição de suas propriedades utilizando a técnica de infravermelho próximo (NIR).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, L.B. de, Lima, J.T., Rabelo, G.F., Gomes, F.C., Trugilho, P.F. e Eloy, F.S. (2013). “Avaliação não Destrutiva de Estruturas de Madeira em Edifícios Históricos de Tiradentes, MG.” In: *Revista Cerne*. v.19, n3, 481-487.
- Albertcht, R.A., Joffre, R., Gros, R., Petit, J.L., Terron, G. e Périsol, C. (2007). “Efficiency of near-infrared reflectance spectroscopy to assess and predict the stage of transformation of organic matter in the composting process” In: *Bioresource Technology*. v. 99, 448-455.
- Almeida, C.F.A.M., Del Menezzi, C.H. e Silva, T.C. (2012). “Uso da avaliação não destrutiva em vigotas de angelim vermelho (*Dinizia excelsa* Ducke) ”. In: *Ciência da Madeira (Braz. J. Wood Sci.)*, v. 03, n. 02, 128-143.
- Almeida, F.M.N. (2009). *Espectroscopia de infravermelho próximo com transformada de Fourier (FT-NIR) na caracterização de farinhas para alimentação Pueril*, Dissertação de mestrado em Engenharia Biológica, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 84p.
- Alves, R.C., Carrasco, E.V.M. (2013). “Estimativa das constantes de rigidez de madeiras tropicais ultra-duras orientadas nas três direções principais”. In: *Enciclopédia Biosfera*, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, n.16; 1079.
- Alves, R.C., Oliveira, J.T.S., Motta, J.P. e PAES, J.B. (2012). “Caracterização Anatômica Macroscópica de Madeiras Folhosas Comercializadas no Estado do Espírito Santo”. In: *Floram - Revista Floresta e Ambiente*, 19(3), 352-361.
- Andrade, C.R. (2009). *Espectroscopia no infravermelho próximo para prever propriedades da madeira e do carvão de plantio clonal de Eucalyptus sp.* Dissertação de mestrado em Ciência e tecnologia da madeira, Universidade Federal de Lavras – UFLA, 121p.
- Andrade, C.R., Trugilho, P.F., Napoli, A., Vieira, R.S., Lima, J.T. e Souza, L.C. (2010). “Estimation of the mechanical properties of wood from *Eucalyptus urophylla* using near infrared spectroscopy.” In: *Revista Cerne*, v. 16, n. 3, 291-298.
- Andrade, W. (2011). *Estrutura de Madeira, Propriedades Físicas da Madeira Relevantes para o Projeto de Estruturas*, Departamento de Engenharia, Universidade de Goiás, Campus de Catalão, Catalão, Goiás.
- Araújo, H.J.B. (2002). *Agrupamento das espécies madeireiras ocorrentes em pequenas áreas sob manejo florestal do projeto de colonização Pedro Peixoto (AC) por similaridade das propriedades físicas e mecânicas*. Dissertação de mestrado em Recursos Florestais, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. 184p.
- Araújo, H.J.B. (2007). “Relações funcionais entre propriedades físicas e mecânicas de madeiras tropicais brasileiras. ” In: *Revista Floresta*, v. 37, n. 3, 399-416.

- Autran, C.S., Gonçalves, J.C. (2006). “Caracterização colorimétrica das madeiras de muirapiranga (*Brosimum rubescens* Taub.) e de seringueira (*Hevea brasiliensis*, clone Tjir 16 Müll Arg.) visando à utilização em interiores”. In: *Revista Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 16, n. 4, 445-451.
- Baker, T.R., Phillips, O.L., Malhi, Y., Almeida, S., Arroyo, L., Fiore, A., Erwin, T., Killen, T.J., Laurance, S.G., Laurance, W.F., Lewis, S.L., Lloyd, J. (2004). “Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass.” In: *Global Change Biology*, 10:545-562.
- Barbosa, L.C.A. (2011). *Espectroscopia no infravermelho na caracterização de compostos orgânicos*. Viçosa: Ed. UFV. 2ª reimpressão 2011. 189p.
- Barcellos, D.C. (2007). *Caracterização do carvão vegetal através do uso de espectroscopia no infravermelho próximo*. Tese de Doutorado em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, 162p.
- Barros, S.V.S., Muñoz, G.I.B., Matos, J.L.M. (2014). “Caracterização colorimétrica das madeiras de três espécies florestais da Amazônia”. In: *Revista Cerne*, v. 20, n. 3, 337-342.
- Barthus, R.C. (1999). *Aplicação de métodos quimiométricos para análise e controle de qualidade de óleos vegetais utilizando espectroscopia no infravermelho e Raman*. Dissertação de Mestrado em Química, Universidade Estadual de Campinas, 89p.
- Batista, D.C. (2012). *Modificação térmica da madeira de Eucalyptus grandis em escala industrial pelo processo brasileiro vap holzSysteme®*. Tese de Doutorado em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, 338p.
- Belini, U.L., Hein, P.R.G., Tomazello Filho, M., Rodrigues, J.C., Chaix, G. (2011). “Near Infrared Spectroscopy for estimating sugarcane bagasse content in medium density fiberboard”. In: *Bioresources*, 6(2) 1816-1829.
- Belini, U.L. (2012). *Caracterização tecnológica de painéis de fibra de madeira de eucalipto, Eucalyptus grandis, e de partículas do bagaço do colmo de cana-de-açúcar, Saccharum sp.* Tese de Doutorado em Recursos Florestais, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 169p.
- Billmeyer, F.W., Saltzman, M. (1966). *Principles of color technology*. New York. Interscience. 247p.
- Bowyer, J.L., Shmulsky, R., Haygreen, J.G. (2007). *Forest products and wood science: an introduction*. 5th ed. Blackwell Publishing, Iowa, 557p.
- Borin, V. (2003). *Aplicação de quimiometria e espectroscopia no infravermelho no controle da qualidade de lubrificantes*. Dissertação de Mestrado em Química, Universidade Estadual de Campinas, 104p.
- Brereton, R.C. (2007). *Applied Chemometrics for Scientists*. John Wiley & Sons, Inglaterra, 396p.

- Braz, R.L. (2014). *Influência das tensões de crescimento e da poda sobre a qualidade da madeira de Eucalyptus dunnii, Eucalyptus grandis e Eucalyptus saligna*. Tese de doutorado em Engenharia Florestal, Concentração de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais, Universidade do Paraná, 225p.
- Bucur, V. (1996). “Acoustics of as a tool for nondestructive testing.” In: *International symposium on nondestructive testing of wood*, 10th. Lausanne, Proceedings... Swiss Federal Institute of Technology Chair of Timber Construction 53 – 56p.
- Bucur, V. (1999). “Acoustic as tool for the nondestructive testing of wood.” In: *International symposium on nondestructive testing contribution to the infrastructure safety systems in the 21<sup>ST</sup> century*. Torres, Proceedings... Federal University of Santa Maria, 70 -77p.
- Bucur, V.; Böhnke, I. (1994). “Factors affecting ultrasonic measurements in solid wood”. In: *Ultrasonics*, v.32, n.5, 385-390.
- Burger, L.M., Richter, H.G. (1991). *Anatomia da madeira*. Livraria Nobel S.A. 154p.
- Burns, D.A., Ciurczak, E.W. (2001). *Handbook of near-infrared analysis*. New York: Marcel Dekker, 834p.
- Caldeira, A.F., Rocha, A.P., Santos, C.V.C., Almeida, C., Patelli, J.E., Calvosa, P.S.P., and Sacon, V. (2008) “*Nir on-line: an innovation in the vcp wood yard*.” 2008. Disponível em: <http://www.eucalyptus.com.br/icep03/240Caldeira.text.pdf>
- Calderon, C.M.A. (2012). *O segmento moveleiro na região do Alto Juruá – AC: Perfil e uso de tecnologias alternativas para a caracterização das principais espécies madeireiras*. Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, 174p.
- Calegari, L. (2006). *Uso da onda ultra-sônica como meio de controle do processo de secagem da madeira*. Dissertação de mestrado em Engenharia Florestal, Centro de Ciências Rurais – Universidade Federal de Santa Maria-UFSM. 92p
- Calegari, L., Stangerlin, D.M., Santini, E.J., Haselein, C.R., Longhi, S.J., Carmo, P.I.O., Silva Filho, L.C.P., Gatto, D.A. (2007). “Monitoramento do teor de umidade de madeiras de *pinus elliotti* Engelm e *Eucalyptus grandis* w. Hill ex Maiden, sob diferentes temperaturas de secagem através do ultra-som”. In: *Ciência Florestal*, v 17, n.4, 399-408.
- Calonego, F.W., Severo, E.L.D., Assi, P.P. (2005). “Mensuração do comprimento das fibras para a determinação da madeira juvenil em *Eucalyptus citriodora*”. In: *Scientia Forestalis*, n. 68, 113-121p.
- Camargos, J.A.A. (1996). *Madeiras comerciais de Mato Grosso: Chave de identificação*. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, Coleção meio ambiente, série estudos floresta 3. 82p.

- Camargos, J.A.A., Coradin, V.T.R., Czarneski, C.M., Oliveira, D., Meguerditchian, I. (2001). *Catálogo de árvores do Brasil*. Segunda edição, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, Laboratório de Produtos Florestais, Brasília: Ed. IBAMA. 896p.
- Camargos, J.A.A., Gonzalez, J.C. (2001). “A colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira”. In: *Brasil Florestal*, Brasília, n. 71. 30-41.
- Campos, A.C. M. (2008). *Carvão de Eucalyptus: Efeito dos parâmetros da pirólise sobre a madeira e seus componentes químicos e predição da qualidade pela espectroscopia NIR*. Dissertação de mestrado em Engenharia Florestal, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Lavras-UFLA, 128p.
- Candian, M., Sales, A. (2009). “Aplicação das técnicas não destrutivas de ultra-som, vibração transversal e ondas de tensão para avaliação de madeira”. In: *Revista Ambiente Construído*, v. 9, n. 4, 83-98.
- Carneiro, M. (2008). *Classificação de Lâminas de Madeira de Pinus Spp por Espectroscopia Óptica*. Dissertação mestrado em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná-UFPR, 97p.
- Carrasco, E.V.M., Azevedo Junior, A.P. (2003). “Avaliação não-destrutiva de propriedades mecânicas de madeiras através de ultra-som – fundamentos físicos e resultados experimentais”. In: *Revista Cerne*, v. 9, n. 2, 178-191.
- Carreira, M.R., Cheung, A.B., Oliveira, F.G.R., Dias, A.A., Calil Junior, C., Sales, A., Candian, M. (2006). “Classificação de peças estruturais de pinus sp por ultra-som”. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais*. 17. 13p. Foz do Iguaçu-PR.
- Castelo, P.A.R. (2007). *Avaliação da qualidade da madeira de Pinus taeda em diferentes sítios de crescimento e espaçamentos, através do método não destrutivo de emissão de ondas de tensão*. Tese de doutorado em Ciências Florestais, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná-UFPR, 137p.
- Chaix, G., Kokutse, A.D., Ratovomboahangy, B., Guibal, D., Randrianjafy, H., Rakotondraoelina, H., Brancheriau, L., Rakotovololonimanana, H., Hein, P.R.G., Ramanantoandro, T. (2010). “Prediction of radial and tangential shrinkages by near-infraredchaix, G. et al. spectroscopy: an example for *Tectona grandis* from Togo and for *Liquidambar styraciflua* from Madagascar” In: *Revista Cerne*, Lavras, v.16, Suplemento, 66-73.
- Centro das Indústrias produtoras e Exportadoras de Madeiras de Mato Grosso – CIPEM (2014). “*Dados do Setor: volume transportado*”. In: Sema - Secretaria do meio ambiente de Mato Grosso. Link: <http://www.cipem.org.br/index2.php?sid=292>. Acesso em: 24 fev. 2016.

- Centro das Indústrias produtoras e Exportadoras de Madeiras de Mato Grosso – CIPEM (2012). “*Mato Grosso registra aumento no comércio de produtos florestais*”. In: Sema - Secretaria do meio ambiente de Mato Grosso. Link: <http://www.cipem.org.br/conteudo.php?sid=44&cid=1637>. Acesso em: 24 fev. 2016.
- Conzen, J.P. (2006). *Multivariate Calibration. A Practical Guide for the Method Development in the Analytical Chemistry*. Bruker Optick GmbH. 2nd edition.
- Comission Panamericana de Normas Técnicas – COPANT (1974). “Descrição macroscópica, microscópica e geral da madeira”. In: *COPANT*, São Paulo. v. 30, 1-19 p.
- Comission Panamericana de Normas Técnicas – COPANT. (1972a). “Maderas: selección y colección de muestras”. In: *COPANT*, Caracas-Venezuela, COPANT - 458.
- Comission Panamericana de Normas Técnicas – COPANT. (1972b). “Maderas: acondicionamiento de las maderas destinadas a los ensayos físicos y mecânicos”. In: *COPANT*, Caracas-Venezuela, COPANT - 459.
- Comission Panamericana de Normas Técnicas – COPANT. (1972c). “Maderas: método de determinación del peso específico aparente”. In: *COPANT*, Caracas-Venezuela, COPANT – 461.
- Comission Panamericana de Normas Técnicas – COPANT. (1972d). “Maderas: método de determinación de la contracción”. In: *COPANT*, Caracas-Venezuela, COPANT - 462.
- Comission Panamericana de Normas Técnicas – COPANT. (1972e). “Maderas: método de determinación de la flexión estática”. In: *COPANT 555*, Caracas-Venezuela, COPANT 30:1-006.
- Coradin, V.T.R., Camargos, J.A.A., Pastore, T.C.M., Christo, A.G. (2010). *Madeiras comerciais do Brasil: chave interativa de identificação baseada em caracteres gerais e macroscópicos*. Serviço Florestal Brasileiro, Laboratório de Produtos Florestais: Brasília. CD-ROM.
- Coradin, V.T.R., Marques, M.H.B., Camargos, J.A.A., Muniz, G.I de. (1991). Chave de identificação das principais madeiras da floresta nacional do Tapajós. In: *IBAMA – Série técnica 14*, DIRPED.LPF. Brasília. 51p.
- Coradin, V.T.R., Muniz, G.I de. (1992). “Normas e procedimentos em estudos de anatomia da madeira: Angiospermae II-Gimnospermae”. In: *IBAMA - Série Técnica 15*, DIRPED.LPF. Brasília. 17p.
- Costa Filho P.A. (2003). *Estudo comparativo entre técnicas de inteligência artificial e modelos lineares em determinações quantitativas no infravermelho próximo*. Tese de Doutorado em Química, Universidade Estadual de Campinas, 111p.

- Costa, J.A., Gonzalez, J.C.A., Camargos, J.A.A., Gomes, I.A.S. (2011). “Fotodegradação de duas espécies de madeiras tropicais: jatobá (*Hymenaea courbaril*) e tauari (*couratari oblongifolia*) submetidas à radiação ultravioleta”. In: *Revista Cerne*, Lavras, v. 17, n. 1, 133-139.
- Costa, O.A.L. (2005). “*Velocidade de propagação de ondas de ultra-som na madeira para diferentes condições de umidade*”. Tese de doutorado em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP. 92p.
- Costa, P.F. (2000). *Monitoring Pharmaceutical Processes with Near-Infrared Spectroscopy*. IST.
- Cruz, C.D. (2006). *Programa Genes: Biometria*. Editora UFV. Viçosa (MG). 382p.
- Cunha, A.B. Matos, J.L.M. de. (2010). “Determinação do Modulo de Elasticidade em Madeira Laminada Colada por meio de Ensaio não Destrutivo (*Stress Wave Timer*)”. In: *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.34, n.2, 345-354.
- D’Ambros, J. (2011). *Cadeia produtiva moveleira da região central do Estado do Tocantins: caracterização e perspectivas para a formação de polo moveleiro*. Tese de doutorado em Ciências Florestais, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília-UnB, 301p.
- De Paula, M.H. (2016). Efeito do tratamento térmico em propriedades tecnológicas das madeiras de angelim vermelho (*Dinizia excelsa* Ducke) e sapucaia (*Lecythis pisonis* Cambess). Dissertação de mestrado em Ciências Florestais, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, 103p.
- De Paula, M.H., Mesquita, R.R.S., Gonzalez, J.C., Ribeiro, E.S., Souza, R.S. (2016a). “Utilização de métodos não destrutivos para caracterização simplificada da madeira de cumaru (*Dipteryx odorata* Willd)”. In: *Revista Biodiversidade*, V.15, N2, 136-149.
- De Paula, M.H., Gonzalez, J.C., Mesquita, R.R.S., Lima, C.M., Rodrigues, T.O. (2016b). “Heat Treatment Effect on the Color of the Heartwood and Sapwood in a Sapucaia Tree (*Lecythis Pisonis* Cambess)”. In: *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 10(13) August 2016, 108-115.
- Del Menezzi, C.H.S., Silveira, R.S., Souza, M.R. (2010). “Estimativa das propriedades de flexão estática de seis espécies de madeiras Amazônicas por meio da técnica não-destrutiva de ondas de tensão”. In: *Acta Amazônica*, v.40, n.2, 325- 332.
- Delucis, R.A., Ceron Filho, H.R., Peres, M.L., Correa, L.W., Veja, R.A., Gatto, D.A. (2014). “Propriedades tecnológicas da madeira de cedro gaúcho”. In: *Scientia Plena*, v. 10, n. 10, 1-10.
- Dias, F.M., Lahr, F.A.R. (2004). “Estimativa de propriedade de resistência e rigidez da madeira através da densidade aparente”. In: *Scientia Forestalis*, n.65, 102-113.



- Diesel, K.M.F., Da Costa, F.S.L., Pimenta, A.S., Lima, K.M.G. (2014). “Near-infrared spectroscopy and wavelength selection for estimating basic density in *Mimosa tenuiflora* [Willd.] Poiret wood”. In: *Wood Science and Technology*, v.48: 949-959.
- Durlo, M.A., Marchiori, J.N.C. (1992). “Tecnologia da madeira: Retratibilidade” Santa Maria, CEPEF/FATEC, In: *Série Técnica*, 10. 33p.
- Dyk, H.V., Rice, R.W. (2005). “Ultrasonic wave velocity as a moisture indicator in frozen and unfrozen lumber”. In: *Forest Products Journal*, v.55, n.6, 68-72.
- Erikson, R.G., Gorman, T.M., Green, D.W., Graham. D. (2000). “Mechanical grading of lumber sawn from small-diameter lodgepole pine, ponderosa pine, and grand fir trees from northern Idaho”. In: *Forest Products Journal*, v.50, n.7-8, 59-65.
- Evans, J.L.W., Senft, J.F., Green, D.W. (2000). “Juvenile wood effect in red alder: analysis of physical and mechanical data to delineate juvenile and mature wood zones”. In: *Forest Products Journal*, v.50, n.7/8, 75-87.
- Farias, S.M.A.P. (2015). *Caracterização de espécies madeiras como alternativas às tradicionalmente exploradas e utilizadas industrialmente na regional Tarauacá-Envira - Estado do Acre*. Dissertação de mestrado em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná – UFPR. 137p.
- Fedalto, L.C., Mendes, I.C.A., Coradin, V.T.R. (1989). *Madeiras da Amazônia: Descrição do lenho de 40 espécies ocorrentes na floresta nacional do Tapajós*. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, Laboratório de Produtos Florestais, Brasília: Ed. IBAMA. 156p.
- Ferraz, I.D.K., Leal Filho, N., Imakawa, A.M., Varela, V.P., Piña-Rodrigues, F.C.P. (2004). “Características básicas para um agrupamento ecológico preliminar de espécies madeiras da floresta de terra firme da Amazônia Central”. In: *Acta Amazônica*, VOL. 34(4): 621 – 633.
- Ferreira, D.F. (2008). *Estatística multivariada*. 1º Edição, Editora UFLA, Lavras-MG. 662p.
- Ferreira, E.S. (2010). *Propriedades físico-mecânicas de painéis de fibra de média densidade (MDF) produzidos com resinas convencionais e modificadas com tanino de acácia negra*. Tese de Doutorado em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, 212p.
- Ferreira, G.C., Gomes, J.I., Hopkins, M.J.G. (2004). “Estudo anatômico das espécies de Leguminosae comercializadas no estado do Pará como angelim”. In: *Revista Acta Amazonica*, VOL. 34(3) 2004: 387 – 398.
- Ferreira, M. (1968). *Estudo da variação da densidade básica da madeira de Eucalyptus alba Reinw e Eucalyptus saligna Smith*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), 72p.

- Ferreira, M.M.C., Antunes, A.M., Melgo, M.S., Volpe, P.L.O. (1999). “Quimiometria I: calibração multivariada, um tutorial”. In: *Química Nova*. São Paulo, vol. 22, n.5, 724-731.
- Foelkel, C.E.B., Brasil, M.A.M., Barrichelo, L.E.G. (1971). “Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas”. In: *IPEF - Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais*, 2/3:65-74.
- Freitas, A.S., Gonzalez, J.C., Del Menezzi, C.H.S. (2016) “Tratamento Termomecânico e seus Efeitos nas Propriedades da *Simarouba amara* (Aubl.)”. In: *Floresta e Ambiente* 2016; 23(4): 565-572.
- Fujimoto, T., Kurata, Y., Matsumoto, K., Tsuchikawa, S. (2008). “Application of near infrared spectroscopy for estimating wood mechanical properties of small clear and full length lumber specimens” In: *Journal of near Infrared Spectroscopy*, 16, 529–537.
- Gatto, D.A., Haselein, C.R., Buligon, E.A., alegari, L., Stangerlin, D.M., Melo, R.R., Trevisan, R., Santini, E.J. (2010). “Estimativa da idade de segregação do lenho juvenil e adulto de *Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch por meio de parâmetros anatômicos da madeira”. In: *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 20, n. 4, 675-682.
- Giordanengo, T. (2005). *Commentaire Bibliographique ser les Procédures d'évaluation de la composition chimique du bois par spectrométrie proche infrarouge*. Master em Sciences du Bois, ENGREF. Montpellier. 106p.
- Gomes, A.F. (2007). *Avaliação das características da madeira e da polpa de Eucalyptus mediante a aplicação de métodos não destrutivos na árvore viva*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Lavras. 124p.
- Gonçalez, J.C. (1993). *Caracterisation technologique de quatre espèces peu connues da la forêt Amazonienne: anatomie, chimie, couleur, propriétés physiques et mécaniques*. Thèse Doctorat – Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts, Nancy, 446p.
- Gonçalez, J.C., Breda, L.C.S., Barros, J.F.M., Macedo, D.G., Janin, G., Costa, A.F., Vale, A.T. (2006). “Características tecnológicas das madeiras de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Madein e *Eucalyptus cloeziana* F. Muell visando ao seu aproveitamento na indústria moveleira”. In: *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 16, n. 3, 329-341.
- Gonçalez, J.C., Félix, T.L.F., Gouveia, F.N., Camargos, J.A.A., Ribeiro, P.G. (2010). “Efeito da radiação ultravioleta na cor da madeira de freijó (*Cordia goeldiana* Huber) após receber produtos de acabamentos”. In: *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 20, n. 4, 657-664.
- Gonçalez, J.C., Janin, G., Santoro, A.C.S., Costa, A.F. da, Vale, A.T. do. (2001). “Colorimetria quantitativa: uma técnica objetiva de determinar a cor da madeira”. In: *Brasil Florestal*, n. 72, 47-58.

- Gonçalez, J.C., Janin, G., Camargos, J.A. (2002). “A Técnicas de medição de cor atrai o setor moveleiro”. In: *REMADE - Revista da Madeira*. Curitiba PR, n.67, 22-26.
- Gonçalez, J.C., Marques, M.H.B., Karas, M.C.S., Janin, G. Ribeiro, P.G. (2014b). “Effect of drying process on marupá wood color”. In: *Maderas. Ciencia y tecnología* 16(3): 337-342.
- Gonçalez, J.C., Santos, G.L., Silva Júnior, F.G., Martins, I.S., Costa, J.A. (2014a). “Relações entre dimensões de fibras e de densidade da madeira ao longo do tronco de *Eucalyptus urograndis*”. In: *Revista Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 42, n. 101, 81-89.
- Gonçalez, J.C., Vale, A.T., Costa, A.F. (2001). “Estimativas das constantes elásticas da madeira por meio de ondas ultra-sonoras (ultra-som) ”. In: *Revista Cerne*, Lavras, v.7, n.2, 81-92.
- Gonçalves, F.G., Oliveira, J.T.S., Silva, G.F., Nappo, M.E., Tomazello Filho, M. (2010). “Parâmetros dendrométricos e correlações com propriedades tecnológicas em um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*”. In: *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.34, n.5, 947-959.
- Gorniak, E., Matos, J.L.M. (2000). “Métodos Não Destrutivos para Determinação e Avaliação de Propriedades da Madeira”. In: *Encontro Brasileiro em Madeira em Estrutura de Madeira, Anais...* São Carlos, 7p.
- Gouvêa, A.F., Trugilho, P.F., Gomide, J.L., Silva, J.R.M., Andrade, C.R., Alves, I.C.N. (2011). “Determinação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus* por diferentes métodos não destrutivos”. In: *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.35, n.2, 349-358.
- Guimarães, L.E.S., Bussinguer, A.P., Del Menezzi, C.H.S., Siqueira, M.L., Souza, M.R. (2012). “Efeito do carregamento cíclico sobre as propriedades de flexão e ultrassom em madeiras de quatro espécies florestais”. In: *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 40, n. 96, 473-481.
- Hauksson, J.B., Bergqvist, G., Bergsten, U., Sjöström, M., Edlund, U. (2001). “Prediction of basic wood properties for Norway spruce - interpretation of near infrared spectroscopy data using partial least square regression”. In: *Wood Science and Technology*, v.35, 475-485.
- Hein, P.R.G. (2008). *Avaliação das propriedades da madeira de Eucalyptus urophylla por meio da espectroscopia no infravermelho próximo*. Dissertação de Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira, Universidade Federal de Lavras, 88p.
- Hein, P.R.G., Campos, A.C.M., Freitas, M.P. de. (2008). “Introdução à Espectroscopia de Infravermelho Próximo Aplicada às Ciências Florestais”. In: *I Semana Acadêmica de Cursos*. Anais ... Universidade Federal de Lavras, CD-ROM.
- Hein, P.R.G., Campos, A.C.M., Lima, J.T., Trugilho, P.F., Chaix, G. (2009a). “Near infrared spectroscopy for estimating wood basic density in *Eucalyptus urophylla* and *Eucalyptus grandis*”. In: *Revista Cerne*, Lavras, v. 15, n. 2, 133-141.

- Hein, P.R.G., Lima, J.T., Chaix, G. (2009b). “Robustness of models based on near infrared spectra to predict the basic density in *Eucalyptus urophylla* wood”. In: *Journal of on near infrared spectroscopy*, 17, 141-150.
- Hein, P.R.G., Campos, A.C.M., Lima, J.T., Trugilho, P.F., Chaix, G. (2009c). “Estimativa da resistência e da elasticidade à compressão paralela às fibras da madeira de *E. grandis* e *E. urophylla* usando a espectroscopia no infravermelho próximo”. In: *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v.37, n°82, 119-129.
- Hein, P.R.G. Sá, V.A., Bufalino, L.; Mendes, L.M. (2009d). “Calibrations based on near infrared spectroscopy data to estimate wood-cement panel properties” In: *Bioresources* 4(4) 1620-1634.
- Hein, P.R.G. (2010). “Multivariate regression methods for estimating basic density in *Eucalyptus* wood from near infrared spectroscopic data”. In: *Revista Cerne*, Lavras, v. 16, n.5, Suplemento, 90-96.
- Hein, P.R.G., Lima, J.T., Chaix, G. (2010). “Otimização de calibrações baseadas em espectroscopia no infravermelho próximo para estimativa de propriedades da madeira de *Eucalyptus*”. In: *Revista Floresta*, Curitiba, PR, v. 40, n. 3, 615-624.
- Hein, P.R.G., Campos, A.C.M.; Mendes, R.F.; Mendes, L.M., Chaix, G. (2011). “Estimation of physical and mechanical properties of agro-based particleboards by near infrared spectroscopy” In: *Eur. J. Wood Prod.* 69:431–442.
- Hein, P.R.G. (2012). “Estimating shrinkage, microfibril angle and density of *Eucalyptus* wood using near infrared spectroscopic”. In: *Journal of on near infrared spectroscopy*, 20, 427-436.
- Hoadley, R.B. (1990). *Identifying Wood. Accurate results with simple tools*. Newtown: The Taunton Press. 223p.
- Inagakya, T., Schwanninger, M., Kato, R., Kurata, Y., Thanapase, W., Puthson, P., Tsuchikawa, S. (2012). “*Eucalyptus camaldulensis* density and fiber length estimated by near-infrared spectroscopy”. In: *Wood Science Technology*, 46: 143-155.
- International Association of Wood Anatomist – IAWA. (1989). “Iawa list of microscopic features for hardwood identification”. In: *IAWA Bulletin*, 10(3): 219-332.
- Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal – IBDF. (1981). *Madeiras da Amazônia: características e utilização*. Volume 1, Floresta Nacional do Tapajós. Laboratório de Produtos Florestais – LPF, IBAMA, 113p.
- Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal – IBDF. (1988). *Madeiras da Amazônia: características e utilização*. Volume 2, estação experimental de Curuá-una. Laboratório de Produtos Florestais – LPF, IBAMA, 235p.

- Iwakiri, S., Matos, J.L.M., Pinto, J.A., Viana, C.L., Souza, M.M., Trianoski, R., Almeida, V.C. (2010). “Produção de painéis Laminados Unidirecionais- LVL com Lâminas de *Schizolobium amazonicum*, *Eucalyptus salinga* e *Pinus taeda*”. In: *Revista Cerne*, Lavras, v. 16, n. 4, 557-563.
- Iwakiri, S., Matos, J.L., Trianoski, R., Prata, J.G., Rocha, V.Y., Iwakiri, V.T. (2013). “Estimativa do módulo de elasticidade dinâmico nas diferentes posições do tronco das árvores de *Tectona grandis* utilizando método de ondas acústicas”. In: *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 41, n. 100, 523-532.
- Jaconi, A. (2011). *O uso da espectroscopia no infravermelho próximo na quantificação de carbono em solos sob o cultivo de cana-de-açúcar*. Dissertação de Mestrado em Ciências, Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 53p.
- Johansen, D.A. (1940). *Plant microtechnique*. New York, Macgraw-Hill Book Company. 523p.
- Kawamoto, S.; Willians, R. S. (2002). “Acoustic emission and acoustic-ultrasonic techniques for wood and wood-based composites - A review”. In: *General Technical Report FPL-GTR-134*. Madison, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 16p.
- Kelley, S.S., Jellison, J., Goodell, B. (2002). “Use of NIR and pyrolysis-MBMS coupled with multivariate analysis for detecting the chemical changes associated with brown-rot biodegradation of spruce wood”. In: *FEMS Microbiology Letters*, v. 209, 107-111.
- Kelley, S.S., Rials, T.G., Snell, R., Groom, L.H., Sluiter, A. (2004a). “Use of near infrared spectroscopy to measure the chemical and mechanical properties of solid wood”. In: *Wood Science and Technology*, v.38, n.4, 257-276.
- Kelley, S.S., Rials, T.G., Groom, L.H., So, C.L. (2004b). “Use of Near Infrared Spectroscopy to predict the mechanical properties of six softwoods”. In: *Holzforschung*, Berlin, v. 58, 252–260.
- Kerber, P.R., Stangerlin, D.M., Pariz, E., Melo, R.R., Souza, A.P., Calegari, L. (2016). “Colorimetry and surface roughness of three amazon woods submitted to natural weathering”. In: *Nativa*, Sinop, v.4, n.5, 303-307.
- Klitzke, R.J. (2007). “Secagem da madeira”. In: Oliveira, J.T.S., Fiedler, N.C., Nogueira, M. *Tecnologias aplicadas ao setor florestal brasileiro*. Jerônimo Monteiro.
- Klitzke, R.J., Savioli, D.L., Muniz, G.I.B., Batista, D.C. (2008). “Caracterização dos lenhos de cerne, alburno e transição de jatobá (*Hymenaea* sp.) visando ao agrupamento para fins de secagem convencional”. In: *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 36, n. 80, 279-284.
- Kokutse, A.D., Brancheriau, L., Chaix, G. (2010) “Rapid prediction of shrinkage and fibre saturation point on teak (*Tectona grandis*) wood based on near-infrared spectroscopy” In: *Annals Forest Science*, 67: 403.

- Kowalski, B.R., Seasholtz, M.B. (1991). "Recent developments in multivariate calibration". In: *Journal of Chemometrics*, Chichester, v.5, 129-145.
- Lima, C.M., Gonçalves, J.C., Vaz da Costa, T.R., Pereira, R.S., Lima, J.B.M., Lima, M.S.A. (2013a). "Comportamento da cor de lâminas de madeira de pau-marfim (*Balfourodendron riedelianum*) tratada com produtos de acabamento". In: *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.37, n.2, 377-384.
- Lima, J.J.P., (2008). *Física em medicina nuclear: temas e aplicações*. Editor: Imprensa Universidade de Coimbra. 566p.
- Lima, N.N., Mendes, L. M., Sá, V.A., Bufalino, L. (2013b). "Propriedades físico-mecânicas de painéis lvl produzidos com três espécies Amazônicas". In: *Revista Cerne*, Lavras, v. 19, n. 3, 407-413.
- Lisboa, C.D.J., Matos, J.L.M., Melo, J.E. (1993). *Amaostragem e propriedades físico-mecânicas de madeiras Amazônicas*. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, Coleção meio ambiente, série estudos floresta 1. 103p.
- Lobão, M.S., Della Lúcia, R.M., Moreira, M.S.S., Gomes, A. (2004). "Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades". In: *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.28, n.6, 889-894.
- Lobão, M.S., Pereira, K.R.M. (2005). *Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira – Universidade Federal do Acre, Departamento de Ciências agrárias - Rio Branco/AC. série tecnologia da madeira, Apostila, V. 1, n1, 44p.*
- Lopes, G.A., Garcia, J.N. (2002). "Densidade básica e umidade natural da madeira de *Eucalyptus saligna* Smith, de Itatinga, associadas aos padrões de casca apresentados pela população". *Revista Scientia Forestalis*, n.62, 13-23.
- Lopes, M.C. (2008). *Espectroscopia no infravermelho próximo aplicada na avaliação de painéis de madeira colados lateralmente*. Tese de Doutorado em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. 131p.
- Macedo, D.G. (2008). *Compósitos de serragem de madeira e resíduos de recauchutagem de pneu*. Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Universidade de Brasília-UnB. Brasília-DF. 145p.
- Magalhães, W.L.E., Pereira, J.C.D., Muñiz, G.I.B., Klock, U., Silva, J.R.M. (2005). "Determinação de propriedades químicas e anatômicas de madeira com o uso de reflexão difusa de infravermelho próximo". In: *Bol. Pesquisa Florestal*, Colombo, n.50, 25-36.
- Mainieri, C., Chimelo, J.P. (1989). *Fichas de características das madeiras brasileiras*. São Paulo: Instituto de pesquisas tecnológicas, 408p.

- Mainieri, C., Chimelo, J.P., Angyalossy, V. (1983) *Manual de identificação das principais madeiras comerciais brasileiras*. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 241p.
- Marques, M.H.B. (1997). *Madeiras da Amazônia características e utilização*. Volume 3, Amazônia oriental, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, Laboratório de Produtos Florestais – LPF. 141p.
- Marques, M.H.B. (2008). *Agrupamento de 41 espécies de madeiras da Amazônia para secagem baseado em características anatômicas e físicas*. Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Universidade de Brasília, 141p.
- Marques, S.S., Oliveira, J.T.S., Paes, J.B., Alves, E.S., Silva, A.G., Fiedler, N.C. (2012). “Estudo comparativo da massa específica aparente e retratibilidade da madeira de pau-brasil (*Caesalpinia echinata* LAM.) nativa e de reflorestamento”. In: *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.36, n.2, 373-380.
- Martens, H.E., Tormod, N. (1989). *Multivariate calibration*. New York, J. Wiley, 438p.
- Matos, J.L.M. (1997). *Estudo sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de Pinus taeda L.* Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 117p.
- Matos, J.L.M. (2002). “Métodos não destrutivos para avaliação da qualidade da madeira”. In: *Seminário Sólidos de eucalipto: avanços científicos e tecnológicos*. Lavras, Anais... Universidade Federal de Lavras, 76-84p.
- Mattos, B.D., Gatto, D.A., Stangerlin, D.M., Calegari, L., Melo, R.R., Santini, E.J. (2011). “Variação axial da densidade básica da madeira de três espécies de gimnospermas”. In: *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.6, n.1, 121-126.
- Medeiros Neto, P.N., Paes, J.B., Segundinho, P.G.A. (2016). “Determinações dos módulos de elasticidade e ruptura de madeiras por técnicas não destrutivas e destrutiva”. In: *Scientia Forestalis*, volume 44, n. 111, 683-690.
- Meder, R., Gallagher, S., Mackie, K.L., Böhler, H., Megle, R.R. (1999). “Rapid Determination of the Chemical Composition and Density of *Pinus radiata* by PLS Modelling of Transmission and Diffuse Reflectance FTIR Spectra”. In: *Holzforschung*, Berlin, v.53, 261–266.
- Melo, J.E.; Coradin, V.T.R.; Mendes, J.C. (1990). “Classes de densidade para madeiras da Amazônia brasileira”. In: *Congresso Florestal Brasileiro*, 6, Campos do Jordão. Anais. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, v.3, p.695-699.
- Melo, R.R., Araldi, D.B., Stangerlin, D.M., Müller, M.T., Gatto, D.A. (2013). “Uso das características tecnológicas da madeira para o agrupamento de espécies florestais”. In: *Revista Nativa*, Sinop, v. 01, n. 01, 01-07.

- Melo, R.R., Del Menezzi, C.H.S (2016). “Estimativas das propriedades físico-mecânicas de compostos lvl confeccionados com paricá por meio de ultrassom”. In: *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 26, n. 1, 263-272.
- Mendes, T.J., Gonzalez, J.C., Teles, R.F., Lima, C.M., (2016). “Efeito do intemperismo artificial na cor de lâminas de madeira tratadas com dois produtos de acabamento”. In: *Revista Cerne*, v. 22, n.1 101-110.
- Mendham, J., Denney, R.C., Barnes, J.D., Thomas, M.J.K.V. (2002). *Análise Química Quantitativa*. 6 Ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 462p.
- Messerschmidt, I. (1999). *Análise quantitativa por espectroscopia no infravermelho médio empregando técnicas de refletância e calibração multivariada*. Tese de Doutorado em Química, Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, 149p.
- Milagres, F.R. (2009). *Avaliação da madeira de híbridos de Eucalyptus globulus com E. grandis e E. urophylla, para produção de celulose, utilizando espectroscopia NIR*. Dissertação de Mestrado em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa – UFV, 142p.
- Milagres, F.R. Gomide, J.L. Magaton, A. Fantuzzi Neto, H. (2013). “Influência da idade na geração de modelos de espectroscopia NIR, para predição de propriedades da madeira de *Eucalyptus* spp”. In: *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.37, n.6, 1165-1173.
- Miná, A.J.S. Oliveira, F.G.R. Calil Júnior, C., Dias, A.A. Sales, A. (2004). “Avaliação não destrutiva de postes de madeira por meio de ultrassom”. In: *Scientia Forestalis*, n.65, 188-196.
- Micko, M.M.; Yanchuk, A.D.; Wang, E.I.C.; Taylor, F.W. (1982). “Computerised measurement of fibre length”. In: *IAWA Bulletin*, n.s., vol. 3 (2):11-113.
- Minolta. K. (1998). *Precise Color Communication: Color control from perception to instrumentation*. Japão: Minolta Co. Ltd. 62p.
- Moreschi, J.C. (2010). *Apostila de propriedades da madeira*. Setor de Ciências agrárias-UFPR, Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. Link: <<http://www.madeira.ufpr.br/publicacoes/propriedadesdamadeira2010.pdf>> Acesso em: 22/02/2016.
- Moreschi, J.C. (2012). *Apostila de propriedades da madeira*. Setor de Ciências agrárias-UFPR, Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. 4º edição, Link: <http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasmoreschi/PROPRIEDADES%20DA%20MADEIRA.pdf> Acesso em: 15/01/2016.
- Mori, C.L.S.O., Lima, J.T., Mori, F.A., Trugilho, P.F., Gonzalez, J.C. (2005). “Caracterização da cor da madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp”. In: *Revista Cerne*, Lavras, v. 11, n. 2, 137-146.
- Naes, T., Isaksson, T., Fearn, T., Davies, T. (2002). *A user-friendly guide to multivariate calibration and classification*. Chichester: NIR. 344 p.



- Neto, P.N.M., Paes, J.B., Segundinho, P.G.A. (2016). “Determinações dos módulos de elasticidade e ruptura de madeiras por técnicas não destrutivas e destrutiva”. In: *Scientia Forestalis*, volume 44, n. 111. 683-690.
- Nisgoski, S. (2005). *Espectroscopia no infravermelho próximo no estudo de características da madeira e papel de Pinus taeda L.* Tese de Doutorado em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná-UFPR, 173p.
- Nishino, Y., Janin, G., Chanson, B., Détienne, P., Gril, J., Thibaut, B. (1998). “Colorimetry of wood specimens from French Guiana”. In: *Journal of Wood Science*, London, v. 44, 3-8.
- Nogueira, M. (2003). *Determinação de módulos de elasticidade à compressão da madeira de Pinus Taeda L. com o uso de ultra-som.* Dissertação de Mestrado em Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 165p.
- Organización Internacional de lãs Maderas Tropicales - OIMT. (2015). *Reseña bienal y evaluación de la situación mundial de las maderas 2013-2014.* Yokohama, Japón. OIMT. 223p.
- Oliveira, F.C.C. (2006). *Modelos de calibração multivariada associados a espectroscopia vibracional para análise de misturas diesel- óleos vegetais.* Dissertação de Mestrado em Química, Programa de pós-graduação do instituto de química, Universidade de Brasília, 120p.
- Oliveira, F.C., Spuza, A.T.P.C., Dias, J.A., Dias, S.C.L., Rubim, J.C.A (2004). “Escolha da faixa espectral no uso combinado de métodos espectroscópicos e quimiométricos”. In: *Química nova*, São Paulo, v.27, n.02, 218-255.
- Oliveira, F.G.R. (2001). *Estudo das propriedades mecânicas de dicotiledôneas por meio de ensaios não destrutivos utilizando equipamento de ultra-som.* Dissertação de mestrado em Ciência e Engenharia dos Materiais, Universidade de São Paulo, 104p.
- Oliveira, F.G.R., Campos, J.A.O., Sales, A. (2002). “Ultrasonic measurements in Brazilian hardwood”. In: *Materials Research*, v.5, n.1, 51-55.
- Oliveira, F.G.R.; Candian, M.; Lucchette, F.F.; Salgon, J.L.; Sales, A. (2005b). “Moisture content effect on ultrasonic velocity in *Goupia glabra*”. In: *Materials Research*, São Carlos, v.8, n.1, 11-14.
- Oliveira, J.T.S. (1988). *Estudo das propriedades físicas e tecnológicas da madeira da pindaíba (Xylopia sericea St. Hill.).* Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Universidade Federal de Viçosa, 106p.
- Oliveira, J.T.S. (1998). *Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil.* Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 429p.

- Oliveira, J.T.S. Hellmeister, J.C. Tomazello Filho, M. (2005a). “Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto”. In: *Revista Árvore*, v. 29, n. 1, 115-127.
- Oliveira, J.T.S., Silva, J.C. (2003). “Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm”. In: *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.27, n.3, 381-385.
- Oliveira, J.T.S., Tomazello Filho, M., Fiedler, N.C. (2010). “Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus*”. In: *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.34, n.5, 929-936.
- Orellana, J.B.P. (2015). *Valorização tecnológica da madeira de Tachigali vulgaris provenientes plantios de dois sítios distintos localizados no estado do Amapá*. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Publicação PPG EFL. DM-248/2015, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, 74p.
- Pantoja, P.A. (2006). *Aplicação da espectroscopia no infravermelho próximo na caracterização da carga de petróleo para o processo de destilação atmosférica*. Dissertação de Mestrado em Engenharia, Universidade de São Paulo, 91p.
- Pasquini, C. (2003). “Near infrared spectroscopy: fundamentals, practical aspects and analytical applications”. In: *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 14, n. 2, 198-219.
- Pereira, D., Santos, D., Vedoveto, M., Guimarães, J., Veríssimo, A. (2010). *Fatos florestais da Amazônia*. Belém: IMAZON. 126p.
- Perez, A.A. (2001). *Segmentação e quantificação de tecidos em imagens coloridas de úlceras de perna*. Dissertação de Mestrado em Engenharia elétrica, Capítulo 3 (colorimetria). Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 84p.
- Pico, R., Camarena, F., Silla, E.E., Peñafiel, J.M. (2004). “Medida de las constantes elasticas de maderas densas por métodos ultrasonicos”. In: *Revista de Acústica*, v. 35, n. 1 e 2, 41-45.
- Pigozzo, R.J.B. (2011) *Espectroscopia de infravermelho próximo em madeiras neotropicais: Aplicação na identificação e predição das propriedades físicas*. Dissertação de mestrado em Ciências, Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. 97p.
- Poubel, D.S., Garcia, R.A., Latorraca, J.V.F., Carvalho, A.M. (2011). “Estrutura Anatômica e Propriedades Físicas da Madeira de *Eucalyptus pellita* F. Muell”. In: *Floresta e Ambiente* 2011 abr./jun.; 18(2):117-126.
- Puccini, C.T. (2002). *Avaliação de aspectos de qualidade da madeira utilizando o ultrassom*. Tese de Doutorado em Engenharia Agrícola – Universidade Estadual de Campinas, 139p.

- Puehringer, C.A. (2002). *Uso de emissão de ondas de tensão para avaliação não destrutiva de árvores e da madeira de Pinus taeda L.* Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 104p.
- Queiroz, F.L.C., Gonzalez, J.C., Del Menezzi, C.H., Ribeiro, E.S., Lima, C.M. (2016). “Intemperismo Artificial em Lâminas de Tectona grandis Tratadas com Produtos de Acabamento”. In: *Floresta e Ambiente* 2016; 23(4): 573-581.
- Rakotovololonalimanana, H., Chaix, G., Brancheriau, L., Ramamonjisoa, L., Ramananantoandro, T., Thevenon, M.F. (2015). “A novel method to correct for wood MOE ultrasonics and NIRS measurements on increment cores in Liquidambar styraciflua L” In: *Annals of Forest Science*, 72:753–761.
- Raymond, C.A., Schimleck, L.R., Muneri, A., Michell, A.J. (2001). “Nondestructive sampling of *Eucalyptus globules* and *E. nitens* for wood properties. III. Predicted pulp yield using near infrared reflectance analysis”. In: *Wood Science and Technology*, v.35, n.3, 203-215.
- Reflora – (2017). *Flora do Brasil 2020 em construção*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>>. Acesso em: 15 Fev. 2017.
- Ribeiro, E.S. (2013). *Comercialização de madeira serrada de florestas naturais em Mato Grosso: Um diagnóstico do setor de base florestal*. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso, Departamento de Engenharia Florestal, FENF/UFMT. 116pag.
- Ribeiro, E.S. Gonzalez, J.C., Souza, R.S., De Paula, M.H. (2016). “Avaliação de propriedades mecânicas da madeira por meio de métodos destrutivos e não-destrutivos”. In: *Nativa*, Sinop, v.4, n.2, 103-106p.
- Ribeiro, P.G. (2009). *Utilização de Técnicas Não Destrutivas para Caracterização de Madeiras de Pinus caribaea Var. hondurensis e de Eucalyptus grandis*. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Engenharia Florestal. Publicação: EFL M – 119/2009. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, 114p.
- Ribeiro, P.G., Gonzalez, J.C., Gonçalves, R., Teles, R.F., Souza, F. (2013). “Ultrasound waves for assessing the technological properties of *Pinus caribaea* var *hondurensis* and *Eucalyptus grandis* wood”. In: *Maderas. Ciencia y tecnología* 15(2): 195-204.
- Rocha, J.S. (1994). *A segurança de estruturas de madeira determinada a partir da variabilidade da densidade básica e de propriedades mecânicas de madeiras Amazônicas*. Dissertação de Mestrado em Recursos Florestais, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 160 P.
- Rocha, R.R. da. (2003). *Avaliação não-destrutiva de madeiras para dormentes ferroviários*. Dissertação de Mestrado em Agronomia, Universidade Federal Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 112p.

- Rodrigues, D.A., Silveira, A.P., Castello, P.A.R. (2014). “Determinação de propriedades físico-mecânicas da madeira de cinco espécies madeireiras da Amazônia meridional”. In: *Scientific Electronic Archives* (7): 52 – 58.
- Romagnoli, M., Segoloni, E., Luna, M., Margaritelli, A., Gatti, M., Santamaria, U., Vinciguerra, V. (2013). “Wood colour in Lapacho (*Tabebuia serratifolia*): chemical composition and industrial implications”. In: *Wood Science and Technology*, New York, v. 47, n. 4, 701–716.
- Ross, R.J., Brashaw, B.K., Pellerin, R.F. (1998). “Nondestructive evaluation of wood”. In: *Forest Products Journal*, v.48, n.1, 14-19.
- Rosso, S. (2010). *Predição das propriedades de Eucalyptus grandis Maiden por espectroscopia no infravermelho próximo*. Tese de Doutorado em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná. Curitiba-PR. 126p.
- Rosso, S., Muñiz, G.I.B., Matos, L.M., Haselein, C.R., Hein, P.R.G., Lopes, M.C. (2013). “Estimate of the density of *Eucalyptus grandis* W. Hill ex maiden using near infrared spectroscopy”. In: *Revista Cerne*, v.19, n. 4, 647-652.
- Samistraro, G. (2008). *Previsão das propriedades químicas da polpa e papel Kraft por espectroscopia no Infravermelho Próximo (NIR) e regressão de mínimos quadrados parciais (PLS)*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 115p.
- Samistraro, G., Muñiz, G.I.B. (2009). “Previsão das propriedades físicas do papel kraft por espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) e regressão por mínimos quadrados parciais (PLS)”. In: *Revista Química Nova*, Vol. 32, No. 6, 1422-1425.
- Santini Júnior, L. (2013). *Descrição macroscópica e microscópica da madeira aplicada na identificação das principais espécies comercializadas no estado de São Paulo “São Paulo amigo da Amazônia” e “Cadmadeira”*. Dissertação de mestrado em Tecnologia de produtos florestais, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 273p.
- Santos, A.F. (2003). *Acompanhamento Em Tempo Real De Propriedades De Sistemas De Polimerização*. Tese de Doutorado em Engenharia Química, Coppe/UFRJ, Rio De Janeiro, RJ, Brasil.
- Santos, A.F., Pinto J.C., Silva M.F., Lenzi, M.K. (2005). “Monitoring and Control of Polymerization Reactors using NIR Spectroscopy”. In: *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, Vol. 44, 1 – 61.
- Santos, A.J.A., Alves, A.M.M., Simões, R.M.S., Pereira, H., Rodrigues, J., Schwanninger, M. (2012). “Estimation of wood basic density of *acacia melanoxylon* (R. BR) by near infrared spectroscopy”. In: *Journal of near infrared spectroscopy*, v. 20, 267-274.
- Santos, A.P. (2011). *Espectroscopia de infravermelho próximo em análises de solo e planta*. Dissertação de Mestrado em Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, 76p.

- Santos, R.B., Gomide, J.L., Sousa, L.C. (2009). “Predição de qualidade da madeira e da polpa celulósica por técnica de espectroscopia de infravermelho próximo (NIRS) ”. In: *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.33, n.4, 759-767.
- Savitzky, A., Golay, M.J.E. (1964). “Smoothing and differentiation of data by simplified least-squares procedures”. In: *Analytical Chemistry*, DOI: 10.1021/ac60214a047, v.36, n.8, 1627-1639.
- Scanavaca, L., Garcia, J.N. (2004). “Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*”. In: *Scientia Forestalis* n.65, 10-129.
- Schimleck, L.R.; Evans, R. (2002). “Estimation of microfibril angle of increment cores by near infrared spectroscopy”. In: *IAWA Journal*, v.23, n.3, 225 – 234.
- Schimleck, L.R.; Evans, R. (2004). “Estimation of *Pinus radiata* D. Don tracheid morphological characteristics by near infrared spectroscopy”. In: *Holzforschung*, Berlin, v. 58, 66-73.
- Schimleck, L.R.; Doran, J.C.; Rimbawanto, A. (2003a). “Near infrared spectroscopy for cost-effective screening of foliar oil characteristics in a *Melaleuca cajuputi* breeding population”. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Easton, v.51, 2433-2437.
- Schimleck, L.R., Evans, R., Jones, P.D., Daniels, R.F., Peter, G.F., Clark III, A. (2005). “Estimation of microfibril angle and stiffness by near infrared spectroscopy using sample sets having limited wood density variation”. In: *IAWA Journal*, v. 26, n. 2, 175-187.
- Schimleck, L.R., Evans, R., Illic, J. (2001). “Estimation of *Eucalypts delegatensis* wood properties by near-infrared spectroscopy”. In: *Canadian Journal of Forest Research*. Canadá, v.31, n.10, 1671-1675.
- Schimleck, L.R., Evans, R., Matheson, A.C. (2002a). “Estimation of *Pinus radiata* D. Don clear wood properties by near infrared spectroscopy”. In: *Journal of Wood Science*, v.48, n.2, 132-137.
- Schimleck, L.R., Evans, R., Illic, J., Matheson, A.C. (2002b). “Estimation of wood stiffness of increment cores by near-infrared spectroscopy”. In: *Canadian Journal of Forest Research*. Canadá, v.32, n.1, 129-135.
- Schimleck, L.R., Michell, A.J., Raymond, C.A., Muneri, A. (1999). “Estimation of basic density of *Eucalyptus globulus* using near-infrared spectroscopy”. In: *Canadian Journal of Forest Research*, v. 29, 194-201.
- Schimleck, L.R., Mora, C., Daniels, R.F. (2003b). “Estimation of tracheid morphological characteristics of green *Pinus taeda* L. radial strips by near infrared spectroscopy”. In: *Wood and Fiber Science*, v. 36, n. 4, 527-535.

- Schultz, T.P., Burns, D.A. (1990). "Rapid secondary analysis of lignocellulose: comparison of near infrared (NIR) and fourier transform infrared (FTIR)". In: *Tappi Journal*, v.73, n.5, 209-212.
- Secretaria de Fazenda do Estado de Mato Grosso - SEFAZ. (2012). *Institui Lista de Preços Mínimos, para os produtos oriundos da Indústria Florestal e Extrativa Vegetal*. Legislação tributária, ato normativo. Portaria 106/2012. Link: <<http://app1.sefaz.mt.gov.br/0325677500623408/7C7B6A9347C50F55032569140065EBBF/627CFE820BF2B511842579E600470277>> Acesso em: 06 out. 2016.
- Serviço Florestal Brasileiro e Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia - SFB e IMAZON. (2010). *A atividade madeireira na Amazônia Brasileira*. Belém-PA. 28p.
- Shimoyama, V.R.S. (2005). *Estimativas de propriedades da madeira de Pinus taeda através do método não destrutivo de emissão de ondas de tensão, visando a geração de produtos de alto valor agregado*. Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 151p.
- Siesler, H.W. (1991). "Near-infrared spectroscopy of polymers", In: *Makromol. Chem., Macromolecular Symposia*. 52, 113-129.
- Siesler, H.W., Ozaki, Y., Kawata, S., Heise, H.M. (2002). *Near infrared spectroscopy: principles, instruments, application*. New York: Wiley/VCH, 361p.
- Skoog, D.A., Holler, F.J., Nieman, T.A. 2002. *Princípios de Análise Instrumental*. 5 Ed. Bookman, Trad. Espanhol, 838p.
- Silva, E.S., Stangerlin, D.M., Gatto, D.A., Calegari, L., Pariz, E. (2015). "Colorimetria da madeira de oito espécies nativas do estado do Rio Grande do Sul, Brasil". *Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)*, 6(1): 31-37.
- Silva, F.A.Z., Azevedo, C.A.V. (2002). "Versão do programa computacional ASSISTAT para o sistema operacional Windows". In: *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v.4, n.1, 71-78.
- Silva Filho, D.F., Rocha, J.S., Moura, J.B. (1992). "Influência da densidade na dureza Janka em oito espécies madeireiras da Amazônia central". In: *Revista Acta Amazônica*, 22 (2): 275 – 283.
- Silva, J.C., Oliveira T.S. (2003). "Avaliação das propriedades higroscópicas da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm., em diferentes condições de umidade relativa do ar". In: *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.27, n.2, 233-239.
- Silva, J.O., Pastore, T.C.M. (2004). "Fotodecomposição e proteção de madeiras tropicais". In: *Revista Floresta e Ambiente*, V. 11, n.2, 07 – 13.
- Silva, J.O., Pastore, T.C.M., Pastore Júnior, F. (2007). "Resistência ao intemperismo artificial de cinco madeiras tropicais e de dois produtos de acabamento" In: *Revista Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 17, n. 1, 17-23.

- Silva, R.A. (2006). *Avaliação da perda da coloração artificial de ágatas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 97p.
- Silveira, L.H.C., Rezende, A.V., Vale, A.T. (2013). “Teor de umidade e densidade básica da madeira de nove espécies comerciais Amazônica”. In: *Acta Amazônica*. Vol. 43(2) 179 – 184.
- Souza, L.C. (2008). *Espectroscopia na região do infravermelho próximo para predição das características da madeira para produção de celulose*. Tese de doutorado em Ciências Florestais, Universidade de Viçosa. 109p.
- Souza, M.A.M. (2006). *Metodologias não destrutivas para avaliação das tensões de crescimento em Eucalyptus dunnii Maiden*. Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 80p.
- Souza, M.H., Camargos, J.A.A. (2014). *Madeiras tropicais Brasileiras – volume 2*. Brasília: SBF/LPF, 2014. 2v. 156p.
- Souza, M.H., Magliano, M.M., Camargos, J.A.A., Souza, M.R. (1997) *Madeiras tropicais Brasileiras*. Brasília: SBF/LPF/IBAMA, 1997. v.1. 152p.
- Stamm, A.J. (1964). “Wood and cellulose science”. In: *The Ronald Press*. New York: DOI: 10.1126/science.147.3658.595-a. Vol. 147, Issue 3658, 595-596.
- Stangerlin, D.M. (2012). “*Monitoramento de propriedades de madeiras da Amazônia submetidas ao ataque de fungos apodrecedores*”. Tese de doutorado em Ciências Florestais, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. 259p.
- Stangerlin, D.M., Cademartori, P.H.G., Gatto, D.A., Calegari, L., Melo, R.R., Vivian, M.A. (2011). “Propagação indireta e semidireta de ondas ultrassônicas na estimativa de propriedades mecânicas da madeira”. In: *Ciência da Madeira (Braz. J. Wood Sci.)*, Pelotas, v. 02, n. 02, 85-95.
- Stangerlin, D.M., Gatto, D.A., Melo, R.R., Calegari, L., Vivian, M.A., Castelo, P.A.R., Beltrame, R. (2010b). “Uso do ultrassom para estimativa das propriedades mecânicas da madeira de *Peltophorum dubium*”. In: *Ciência da Madeira*, Pelotas, v. 01, n. 02, p. 44-53.
- Stangerlin, D.M., Gonzalez, J.C., Gonçalves, R., Santini, E.J., Calegari, L., Melo, R.R., Gatto, D.A. (2010a). “Avaliação de tipos de ondas geradas por dois modelos de transdutores para determinação do módulo de elasticidade dinâmico”. In: *Revista Floresta*, Curitiba, PR, v. 40, n. 4, 691-700.
- Taiz, L., Zeiger, E. (2004). *Fisiologia vegetal*. Porto alegre: Artmed, 719 p.
- Targa, L.A. Ballarin, A.W., Biaggioni, M.A.M. (2005). “Avaliação do módulo de elasticidade da madeira com uso de método não-destrutivo de vibração transversal”. In: *Engenharia Agrícola*, v.25, n.2, 291-299.

- Taylor, A.M., Baek, S.H., Jeong, M.K., Nix, G. (2008). “Wood shrinkage prediction using NIR spectroscopy”. In: *Wood Fiber Science*, v. 40, 3001 – 3007.
- Teles, R.F. (2014). *Ensaio não destrutivo para avaliar o desempenho de madeiras Amazônicas tratadas quimicamente*. Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, 195p.
- Trautenmüller, J.W., Balbinot, R., Borella, J., Trevisan, R. Balestrin, D., Vendruscolo, R., Sabadini, A.M. (2014). “Variação longitudinal da massa específica básica da madeira de *Cordia americana* e *Alchornea triplinervia*”. In: *Ciência Rural*, v.44, n.5, 817-821.
- Trevizor, T.T. (2011). *Anatomia comparada do lenho de 64 espécies arbóreas de ocorrência natural na floresta tropical Amazônica no Estado do Pará*. Dissertação de mestrado em Ciências Florestais, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 217p.
- Trianoski, R. (2012). *Avaliação da qualidade da madeira de espécies de pinus tropicais por meio de métodos convencionais e não destrutivos*. Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 554p.
- Trinca, A.J., Gonçalves, R. (2009). “Efeito das dimensões da seção transversal e da frequência do transdutor na velocidade de propagação de ondas de ultra-som na madeira”. In: *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.33, n.1, 177-184.
- Tsuchikawa S.; (2007). “Review of recent Near Infrared Research for Wood and paper”. In: *Applied Spectroscopy Reviews*, v.42, n.1, 43-71p.
- Tsuchikawa S.; Schwanninger M. (2013). “A review of recent near-infrared research for wood and paper (Part. 2)”. In: *Applied Spectroscopy Reviews*, v.48, n.7, 43-71.
- Tsuchikawa S.; Kobori H. (2015). “A review of recent application of near infrared spectroscopy to wood science and technology”. In: *Journal of Wood Science*, v.61, n. 3, 213–220.
- Vale, A.T., Brasil, M.A.M., Martins, I.S. (1999). “Variação axial da densidade básica da madeira de *Acácia mangium* Willd aos sete anos de idade”. In: *Ciência Florestal*, v.9, n.2. 85-92.
- Varela, J.J. (2002). *Caracterização de polpas de minerais de indústrias através do equipamento Colorcell visando o controle da qualidade do produto*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 160p.
- Veríssimo, A., Pereira, D. (2014). “Produção na Amazônia Florestal: características, desafios e oportunidades”. In *Parcerias Estratégicas*, Brasília-DF, v. 19, n. 38, 13-44.
- Via, B.K. (2004). *Modeling longleaf pine (Pinus palustris Mill) wood properties using near infrared spectroscopy*. Tese School of Renewable Natural Resources. Louisiana State University, 153p.



- Viana, L.C. (2008). *Uso da espectroscopia no infravermelho próximo para predição de propriedades tecnológicas da madeira de Eucalyptus*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Lavras. 120p.
- Viana, L.C., Miniz, G.I.B., Hein, P.R.G., Magalhães, W.L.E., Carneiro, M.E. (2016). “Nir spectroscopy can evaluate the crystallinity and the tensile and burst strengths of nanocellulosic films”. In: *Maderas. Ciencia y tecnología* 18(3): 493 – 504.
- Viana, L.C., Trugilho, P.F., Hein, P.R.G., Lima, J.T., Silva, J.M. (2009). “Predição das características morfológicas e da densidade básica da madeira de *Eucalyptus* pela técnica NIRS”. In: *Revista Cerne*, Lavras, v. 15, n. 4, 421-429.
- Viana, L.C., Trugilho, P.F., Hein, P.R.G., Silva, J.M., Lima, J.T. (2010). “Modelos de calibração e a espectroscopia no infravermelho próximo para predição das propriedades químicas e da densidade básica da madeira de *Eucalyptus*”. In: *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 20, n. 2, 367-376.
- Vire, N.M. (2016). Avaliação da qualidade do lenho de árvores de *Eucalyptus* geneticamente modificadas. Dissertação de mestrado em Recursos Florestais, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” ESALQ. 104p.
- Vivian, M.A., Santini, E.J., Modes, K.S., Carvalho, D.E., Moraes, W.W.C., Souza, J.T., Susin, F. (2012). “Estimativa da resistência e rigidez da madeira de *Eucalyptus grandis* por meio de onda ultrassonora”. In: *PFB Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo-PR, v. 32, n 69, 109-113.
- Wendt, S.C. (2006). *Análise da mudança da cor em concretos submetidos a altas temperaturas como indicativo de temperaturas alcançadas e da degradação térmica*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 188p.
- Westad, F., Martens, F. (2000). “Variable selection in near infrared spectroscopy based on significance testing in partial least square regression”. In: *Journal of Near Infrared Spectroscopy*. Sussex, v.8, 117-124p.
- Wiberg, K. (2004). *Multivariate spectroscopic methods for the analysis of solutions*. These (Ph D. in Analytical Chemistry). Stockholm University, Stockholm, Sweden. 73p.
- Williams, P.C. (2014). “Tutorial: The RPD statistic: a tutorial note”. In: *NIR News*, doi: 10.1255/nirn.1419, v: 25, n: 1 22-26p.
- Williams, P.C.; Sobering, D.C. (1993). “Comparison of commercial near infrared transmittance and reflectance instruments for analysis of whole grains and seeds”. In: *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, v.1, 25-33.
- Workman, J., Weywer, L. (2007). *Practical guide to interpretive near-infrared spectroscopy*. Boca Raton: CRC Press, 332p.

- Yeh, T.F., Chang, H., Kadla, J.F. (2004). "Rapid prediction of solid wood lignin content using transmittance near-infrared spectroscopy". In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.52, n.6, 1435-1439.
- Zenid, G.J. (2007). "Madeiras e suas características". In: Oliveira, J.T.S., Fiedler, N.C., Nogueira, M. *Tecnologias aplicadas ao setor florestal brasileiro*. Jerônimo Monteiro: Suprema Gráfica e Editora, 125-158p.
- Zenid, G.J., Caccantini, G.C.T. (2007). *Identificação macroscópica de madeiras*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 23p.
- Zerbini, N.J. (2008). *Madeiras tropicais com potencial comercial da região do rio Xingu (Pará, Brasil): Propriedades tecnológicas e cadeia produtiva*. Tese de doutorado em Ciências Florestais, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 212p.

## APÊNDICES

# 1 – DADOS QUANTITATIVOS DOS CARACTERES ANATÔMICOS

Tabela 1 - Dados quantitativos dos caracteres anatômicos com valores médios, mínimo, máximo, desvio padrão e coeficiente de variação.

ESPÉCIE		VASOS	VASOS	RAIO	RAIO
		Diametro tangencial do lume ( $\mu\text{m}$ )	Frequência ( $\text{mm}^2$ )	Altura (mm)	Frequência (mm linear)
	<b>Média</b>	<b>220,93</b>	<b>4,60</b>	<b>0,41</b>	<b>5,83</b>
<i>Qualea brevipedicellata</i> Cambará	Mínimo	171,53	3,00	0,33	4,00
	Máximo	269,04	6,00	0,51	8,00
	D. Padrão	25,28	1,00	0,04	1,12
	C.V. (%)	11,44	21,81	10,87	19,14
	<b>Média</b>	<b>142,64</b>	<b>7,67</b>	<b>0,35</b>	<b>8,53</b>
<i>Goupia glabra</i> Cupiúba	Mínimo	99,45	6,00	0,25	7,00
	Máximo	192,78	9,00	0,45	10,00
	D. Padrão	18,90	1,06	0,05	1,11
	C.V. (%)	13,25	13,84	14,10	12,96
	<b>Média</b>	<b>123,21</b>	<b>15,40</b>	<b>0,35</b>	<b>7,23</b>
<i>Mezilaurus itauba</i> Itaúba	Mínimo	79,05	13,00	0,27	5,00
	Máximo	177,23	18,00	0,43	9,00
	D. Padrão	20,48	1,45	0,04	1,19
	C.V. (%)	16,62	9,43	10,74	16,51
	<b>Média</b>	<b>283,46</b>	<b>3,37</b>	<b>0,39</b>	<b>5,23</b>
<i>Erisma uncinatum</i> Cedrinho	Mínimo	204,91	2,00	0,31	4,00
	Máximo	363,94	5,00	0,51	8,00
	D. Padrão	34,71	1,03	0,05	1,07
	C.V. (%)	12,24	30,69	13,91	20,50
	<b>Média</b>	<b>266,21</b>	<b>6,53</b>	<b>0,38</b>	<b>8,83</b>
<i>Hymenolobium petraeum</i> Angelim pedra	Mínimo	199,31	5,00	0,30	7,00
	Máximo	312,21	8,00	0,48	12,00
	D. Padrão	28,64	1,25	0,04	1,44
	C.V. (%)	10,76	19,17	11,02	16,31
	<b>Média</b>	<b>115,85</b>	<b>10,6</b>	<b>0,25</b>	<b>7,37</b>
<i>Manilkara huberi</i> Maçaranduba	Mínimo	92,46	8	0,18	6
	Máximo	147,36	13	0,3	9
	D. Padrão	14,39	1,38	0,03	1
	C.V. (%)	12,42	13,02	10,97	13,57
	<b>Média</b>	<b>110,24</b>	<b>13,90</b>	<b>0,13</b>	<b>10,00</b>
<i>Apuleia leiocarpa</i> Garapeira	Mínimo	93,86	11,00	0,10	8,00
	Máximo	126,59	17,00	0,16	13,00
	D. Padrão	8,81	1,68	0,01	1,36
	C.V. (%)	7,99	12,06	11,57	13,63

ESPÉCIE		VASOS	VASOS	RAIO	RAIO
		Diametro tangencial do lume ( $\mu\text{m}$ )	Frequência ( $\text{mm}^2$ )	Altura (mm)	Frequência (mm linear)
<i>Dipterix odorata</i> Cumbarú	<b>Média</b>	<b>115,37</b>	<b>10,67</b>	<b>0,19</b>	<b>13,23</b>
	Mínimo	91,94	9	0,17	11
	Máximo	147,6	14	0,21	16
	D. Padrão	15,31	1,67	0,01	1,48
	C.V. (%)	13,27	15,64	6,14	11,17
<i>Simarouba amara</i>	<b>Média</b>	<b>221,91</b>	<b>4,1</b>	<b>0,35</b>	<b>5,8</b>
	Mínimo	169,97	3	0,25	4
	Máximo	310,2	6	0,49	8
	D. Padrão	36,74	0,84	0,05	0,96
	C.V. (%)	16,56	20,61	14,39	16,57
<i>Cedrelinga cateniformis</i> Cedrorana	<b>Média</b>	<b>291,25</b>	<b>2,57</b>	<b>0,2</b>	<b>13</b>
	Mínimo	206,24	2	0,16	11
	Máximo	347,45	4	0,23	15
	D. Padrão	33,43	0,68	0,02	1,31
	C.V. (%)	11,48	26,45	9,82	10,1
<i>Couratari oblongifolia</i> Tauari	<b>Média</b>	<b>230,31</b>	<b>2,57</b>	<b>0,64</b>	<b>8,43</b>
	Mínimo	165,96	1	0,51	7
	Máximo	272,9	4	0,81	10
	D. Padrão	26,79	0,73	0,07	0,97
	C.V. (%)	11,63	28,36	10,89	11,52
<i>Hymenaea courbaril</i>	<b>Média</b>	<b>191,48</b>	<b>2,47</b>	<b>0,52</b>	<b>5,47</b>
	Mínimo	160,21	1	0,4	4
	Máximo	226,33	4	0,65	7
	D. Padrão	17,33	0,68	0,05	0,82
	C.V. (%)	9,05	27,63	10,44	14,99
<i>Dinizia excelsa</i> Angelim vermelho	<b>Média</b>	<b>125,6</b>	<b>4,27</b>	<b>0,35</b>	<b>4,83</b>
	Mínimo	100,3	3	0,26	4
	Máximo	149,6	6	0,45	6
	D. Padrão	12,37	0,64	0,04	0,65
	C.V. (%)	9,85	14,99	10,99	13,4
<i>Handroanthus serratifolius</i>	<b>Média</b>	<b>118,66</b>	<b>14,07</b>	<b>0,15</b>	<b>5,77</b>
	Mínimo	97,53	12	0,12	5
	Máximo	152,24	15	0,2	7
	D. Padrão	12,28	0,94	0,02	0,86
	C.V. (%)	10,35	6,71	12,01	14,88

ESPÉCIE		VASOS	VASOS	RAIO	RAIO
		Diametro tangencial do lume ( $\mu\text{m}$ )	Frequência ( $\text{mm}^2$ )	Altura (mm)	Frequência (mm linear)
<i>Pouteria egregia</i> Abiurana	<b>Média</b>	<b>119,24</b>	<b>13,93</b>	<b>0,31</b>	<b>8,63</b>
	Mínimo	93,81	12	0,25	7
	Máximo	145,93	16	0,38	12
	D. Padrão	13,65	1,44	0,03	1,35
	C.V. (%)	11,45	10,31	10,25	15,65
<i>Tetragastris altissima</i> Muiracatiara	<b>Média</b>	<b>100,57</b>	<b>22,9</b>	<b>0,17</b>	<b>10,13</b>
	Mínimo	75,77	19	0,13	8
	Máximo	123,92	28	0,22	13
	D. Padrão	11,9	2,01	0,02	1,36
	C.V. (%)	11,83	8,76	11,99	13,4
<i>Vochysia máxima</i> Cambará rosinha	<b>Média</b>	<b>251,41</b>	<b>3,27</b>	<b>&gt; 1mm</b>	<b>3,2</b>
	Mínimo	197,22	2	> 1mm	2
	Máximo	303,66	5	> 1mm	5
	D. Padrão	28,46	0,74		0,96
	C.V. (%)	11,32	22,64		30,04
<i>Diploctropis purpurea</i>	<b>Média</b>	<b>249,73</b>	<b>4,37</b>	<b>0,36</b>	<b>5,27</b>
	Mínimo	212,52	3	0,26	4
	Máximo	289,5	6	0,5	7
	D. Padrão	24,26	0,85	0,05	0,94
	C.V. (%)	9,71	19,47	14,53	17,93
<i>Euplassa pinnata</i>	<b>Média</b>	<b>244,39</b>	<b>2,07</b>	<b>&gt; 1mm</b>	<b>1</b>
	Mínimo	183,99	1	> 1mm	1
	Máximo	326,31	3	> 1mm	1
	D. Padrão	26,23	0,74		
	C.V. (%)	10,73	35,79		
<i>Lonchocarpus cultratus</i>	<b>Média</b>	<b>292,76</b>	<b>2,33</b>	<b>0,4</b>	<b>6,97</b>
	Mínimo	204,03	1	0,33	6
	Máximo	381,71	4	0,48	9
	D. Padrão	37,16	0,66	0,04	0,81
	C.V. (%)	12,69	28,32	10,38	11,61

Tabela 2 - Dados quantitativos dos caracteres anatômicos das fibras com valores médios, mínimo, máximo, desvio padrão e coeficiente de variação.

<b>Espécie</b>	<b>CF (mm)</b>	<b>LF (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>DL (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>EP (<math>\mu\text{m}</math>)</b>
<i>Q. brevipedicellata</i>				
Cambará				
<b>Média</b>	<b>1,45</b>	<b>24,49</b>	<b>7,17</b>	<b>8,66</b>
Mínimo	1,26	20,55	2,56	5,46
Máximo	1,67	28,99	9,99	11,05
C. V. (%)	7,76	10,98	28,79	19,03
D. Padrão	0,11	2,69	2,06	1,65
<i>G. glabra</i>				
Cupiúba				
<b>Média</b>	<b>2,16</b>	<b>28,23</b>	<b>4,28</b>	<b>11,98</b>
Mínimo	2	22,04	2,72	9,66
Máximo	2,44	34,41	6,83	15,6
C. V. (%)	7,07	11,55	29,12	11,63
D. Padrão	0,15	3,26	1,25	1,39
<i>M. itauba</i>				
Itaúba				
<b>Média</b>	<b>1,42</b>	<b>29,56</b>	<b>11,66</b>	<b>8,95</b>
Mínimo	1,23	23,22	7,7	6,07
Máximo	1,76	35,78	17,05	10,78
C. V. (%)	11,03	14,19	21,45	15,49
D. Padrão	0,16	4,2	2,5	1,39
<i>E. uncinatum</i>				
Cedrinho				
<b>Média</b>	<b>1,29</b>	<b>24,52</b>	<b>7,45</b>	<b>8,54</b>
Mínimo	1,16	19,94	3,01	6,19
Máximo	1,46	30,32	9,93	10,77
C. V. (%)	6,35	13,62	25,78	15,16
D. Padrão	0,08	3,34	1,92	1,29
<i>H. petraeum</i>				
Angelim pedra				
<b>Média</b>	<b>1,74</b>	<b>23,84</b>	<b>4,53</b>	<b>9,66</b>
Mínimo	1,44	21,02	3,06	7,51
Máximo	1,92	27,49	6,77	11,24
C. V. (%)	7,44	7,37	24,09	8,85
D. Padrão	0,13	1,76	1,09	0,85
<i>M. huberi</i>				
Maçaranduba				
<b>Média</b>	<b>1,69</b>	<b>24,43</b>	<b>2,88</b>	<b>10,78</b>
Mínimo	1,38	21,21	2,06	9,01
Máximo	1,94	29,45	3,94	13,17
C. V. (%)	9,96	9,1	19,77	10,05
D. Padrão	0,17	2,22	0,57	1,08

Espécie	CF (mm)	LF ( $\mu\text{m}$ )	DL ( $\mu\text{m}$ )	EP ( $\mu\text{m}$ )
<i>A. Leiocarpa</i> Grapeira				
<b>Média</b>	<b>1,35</b>	<b>15</b>	<b>2,88</b>	<b>6,06</b>
Mínimo	1,05	10,87	1,84	4,03
Máximo	1,69	19,95	4,05	8,36
C. V. (%)	11,71	15,28	21,35	17,12
D. Padrão	0,16	2,29	0,61	1,04
<i>D. odorata</i> Cumbarú				
<b>Média</b>	<b>1,25</b>	<b>21,35</b>	<b>1,72</b>	<b>9,81</b>
Mínimo	1,01	17,18	1,41	7,74
Máximo	1,87	25,19	2,01	11,61
C. V. (%)	15,04	11,18	10,95	12,06
D. Padrão	0,19	2,39	0,19	1,18
<i>S. amara</i> Marupá				
<b>Média</b>	<b>1,18</b>	<b>35,1</b>	<b>25,21</b>	<b>4,95</b>
Mínimo	1,04	29,01	20,12	3,1
Máximo	1,41	42,99	30,06	6,88
C. V. (%)	8,41	10,58	10,93	25,61
D. Padrão	0,1	3,71	2,76	1,27
<i>C. cateniformis</i> Cedrorana				
<b>Média</b>	<b>1,07</b>	<b>30,47</b>	<b>17,08</b>	<b>6,7</b>
Mínimo	0,83	23,85	12,46	4,56
Máximo	1,63	35,75	19,76	8,89
C. V. (%)	15,86	10,47	11,85	20,04
D. Padrão	0,17	3,19	2,02	1,34
<i>C. oblongifolia</i> Tauari				
<b>Média</b>	<b>1,72</b>	<b>25,39</b>	<b>15,41</b>	<b>5</b>
Mínimo	1,45	20,42	10,87	3,52
Máximo	1,92	32,42	18,71	7,44
C. V. (%)	8,37	12,58	15,82	20,8
D. Padrão	0,14	3,19	2,44	1,04
<i>H. courbaril</i> Jatobá				
<b>Média</b>	<b>1,29</b>	<b>20,8</b>	<b>6,87</b>	<b>6,97</b>
Mínimo	1,16	16,47	5	5,63
Máximo	1,48	25,9	8,99	8,99
C. V. (%)	6,36	13,12	17,98	14,35
D. Padrão	0,08	2,73	1,23	1



<b>Espécie</b>	<b>CF (mm)</b>	<b>LF (µm)</b>	<b>DL (µm)</b>	<b>EP (µm)</b>
<i>D. excelsa</i>				
Angelim vermelho				
<b>Média</b>	<b>1,24</b>	<b>18,38</b>	<b>3,3</b>	<b>7,54</b>
Mínimo	1,02	12,85	2,16	5,21
Máximo	1,55	23,17	5,46	9,22
C. V. (%)	11,02	17,23	30,5	18,79
D. Padrão	0,14	3,17	1,01	1,42
<i>H. serratifolius</i>				
Ipê				
<b>Média</b>	<b>1,3</b>	<b>17,21</b>	<b>2,14</b>	<b>7,54</b>
Mínimo	1,14	12,28	1,41	5,43
Máximo	1,55	20,69	2,98	9,18
C. V. (%)	7,39	13,3	23,62	13,81
D. Padrão	0,1	2,29	0,5	1,04
<i>P. egregia</i>				
Abiurana				
<b>Média</b>	<b>1,32</b>	<b>20,73</b>	<b>4,56</b>	<b>8,08</b>
Mínimo	1,11	16,35	3,4	6,18
Máximo	1,59	26,51	6,93	10,85
C. V. (%)	10,87	13,26	22,31	15,63
D. Padrão	0,14	2,75	1,02	1,26
<i>T. altissima</i>				
Muiracatiara				
<b>Média</b>	<b>1,07</b>	<b>15,55</b>	<b>5,82</b>	<b>4,87</b>
Mínimo	0,73	11,2	4,08	3,14
Máximo	1,3	19,4	8,69	6,59
C. V. (%)	15,89	15,19	24,83	19,11
D. Padrão	0,17	2,36	1,44	0,93
<i>V. máxima</i>				
Camabará rosinha				
<b>Média</b>	<b>1,1</b>	<b>24,2</b>	<b>11,83</b>	<b>1,06</b>
Mínimo	0,67	21,02	8,52	0,77
Máximo	1,9	26,59	16,48	1,5
C. V. (%)	23,56	7,24	18,99	19,58
D. Padrão	0,26	1,75	2,25	0,21
<i>D. purpurea</i>				
Sucupira				
<b>Média</b>	<b>1,43</b>	<b>24,89</b>	<b>2,66</b>	<b>11,12</b>
Mínimo	1,14	15,96	1,61	6,76
Máximo	1,71	34,65	4,42	15,11
C. V. (%)	12,1	17,26	31,43	18
D. Padrão	0,17	4,3	0,84	2

<b>Espécie</b>	<b>CF (mm)</b>	<b>LF (µm)</b>	<b>DL (µm)</b>	<b>EP (µm)</b>
<i>E. pinnata</i>				
Loura faia				
<b>Média</b>	<b>2,74</b>	<b>47,54</b>	<b>26,2</b>	<b>10,67</b>
Mínimo	2,31	37,11	21,49	7,22
Máximo	2,97	63,13	36,03	19,24
C. V. (%)	7,3	15,02	17,34	25,26
D. Padrão	0,2	7,14	4,54	2,7
<i>L. cultratus</i>				
Embira de sapo				
<b>Média</b>	<b>1,85</b>	<b>37,84</b>	<b>17,25</b>	<b>10,29</b>
Mínimo	1,61	30,02	10,96	7,03
Máximo	2,08	43,96	24,04	12,72
C. V. (%)	7,27	9,14	19,8	15,37
D. Padrão	0,13	3,46	3,42	1,58

CF: Comprimento de Fibras; LF: Largura da Fibra; DL: Diâmetro do Lume; EP: Espessura da Parede da Fibra.