

UFRRJ
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS E FLORESTAIS

DISSERTAÇÃO

Avaliação da qualidade da madeira de quatro espécies nativas de Mata Atlântica de plantios homogêneos

Claudia de Azevedo Reis

2018



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

Avaliação da qualidade da madeira de quatro espécies nativas de Mata Atlântica de plantios homogêneos

Claudia de Azevedo Reis

Sob a Orientação
Alexandre Monteiro de Carvalho

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

**Seropédica, RJ
Fevereiro de 2018**

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

R375a Reis, Claudia de Azevedo, 1986-
Avaliação da qualidade da madeira de quatro
espécies nativas de Mata Atlântica de plantios
homogêneos / Claudia de Azevedo Reis. - 2018.
57 f. : il.

Orientador: Alexandre Monteiro de Carvalho.
Dissertação(Mestrado). -- Universidade Federal Rural
do Rio de Janeiro, Ciências Ambientais e Florestais,
2018.

1. propriedades tecnológicas da madeira. 2. análise
não destrutivos. 3. florestas nativas. I. Carvalho,
Alexandre Monteiro de, 1971-, orient. II Universidade
Federal Rural do Rio de Janeiro. Ciências Ambientais
e Florestais III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E FLORESTAIS

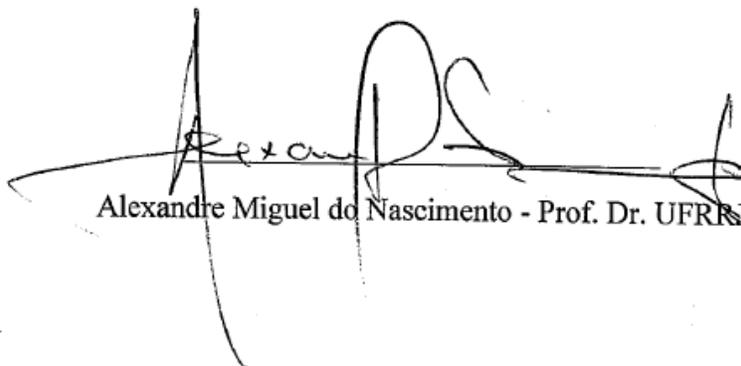
CLAUDIA DE AZEVEDO REIS

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, área de concentração em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 21/02/2018



Alexandre Monteiro de Carvalho - Prof. Dr. UFRRJ (Orientador)



Alexandre Miguel do Nascimento - Prof. Dr. UFRRJ



Daniel Piotto – Prof. Dr. UFSP

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família e a todos que cooperaram para a realização desta pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Esta dissertação de mestrado é o resultado de muitas horas de trabalho e é importante exprimir os meus sinceros agradecimentos a algumas pessoas que me ajudaram em mais uma etapa da minha vida.

Em primeiro lugar, quero agradecer à minha família, a quem dedico este trabalho, pois sempre me apoiou nas minhas decisões, mesmo naquelas que menos compreendiam, por estarem comigo mesmo nos momentos tão difíceis dessa jornada com muita paciência e compreensão, e fez inúmeros sacrifícios para que eu pudesse hoje estar aqui.

Ao meu orientador, o Dr. Alexandre Monteiro de Carvalho, pela paciência, por me ter me colocado em um projeto importante que um dos frutos foi esse trabalho, pelo apoio e sabedoria que foram um pilar essencial para que este fosse possível, pelo enorme entusiasmo com todos os projetos e vivências dentro do laboratório, pela amizade e apoio em todos os momentos.

Ao meu amigo e parceiro de laboratório, doutorando Carlos Eduardo Silveira da Silva, por me ter me ajudado na etapa final deste projeto e por todo o conhecimento transmitido.

Aos Doutores Samir Rolim e Prof. Daniel Piotto, pela oportunidade de ingressar no projeto e oferecer o suporte para desenvolver a minha pesquisa.

Um agradecimento especial e mais que merecido ao professor e amigo Prof. Dr. Alexandre Miguel do Nascimento pelo auxílio nas análises, pelas conversas e apoio incondicional em todos os momentos da minha caminhada na graduação e na pós-graduação.

Aos meus amigos e companheiros do Laboratório de Processamento Mecânico da Madeira - LPM (DPF/IF/UFRRJ) Paulo Cesar Carvalho (PC), Cadu Silveira, Amanda Junqueira, Cissa Pancotti, Hudson, Norma Maciel, Vinicius Girafa, e também do NPQM José Henrique Pace, Jonnys Castro. Em especial aos dois primeiros pela essencial ajuda no cumprimento e realização das atividades em campo e no laboratório.

Ao Prof. Dr. João Figueiredo Latorraca, pelo auxílio tanto técnico como acadêmico, pela paciência, e também pela amizade desde a monitoria na graduação. Aos técnicos Sr. Jorge e Gerson (DPF/IF/UFRRJ), Dinaldo Pereira (DPF/IF/UFRRJ), aos funcionários da Reserva Natural Jonacir, Geovane, Márcio e Ernesto pela recepção na reserva e auxílio em campo, além das etapas burocráticas ocorridas.

As minhas amigas Dayane Oliveira, Aline Fonseca, Marianna Santana, Marina Gomes e Thuanny pelas conversas, amizade e grande apoio nessa caminhada, vocês estarão para sempre no meu coração florestal ruralino.

As minhas companheiras de alojamento Ana Paula Landim, Letícia Lemes, Aline Arrais, Monica Neres e Otávia Reis, que me acolheram e me fizeram família, me deram apoio nos dias mais frustrantes e cansativos. Em especial a primeira pela essencial ajuda quando me senti mais perdida, pela grande amizade e carinho.

RESUMO

REIS, Claudia de Azevedo. **Avaliação da qualidade da madeira de quatro espécies nativas de Mata Atlântica de plantios homogêneos.** 2018. 57 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2018.

A presente pesquisa foi realizada com o material da área de experimentação cedido pela Reserva Natural Vale, localizada no município de Linhares, Espírito Santo, e seu objetivo foi avaliar a qualidade da madeira de quatro espécies nativas de plantios florestais homogêneos através de análises de propriedades físicas, mecânicas e de usinagem da madeira. Das quatro espécies estudadas, *Manilkara sp.*, *Centrolobium tomentosum* Guillem. ex Benth., *Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex Benth. e *Senegalia polyphylla* (DC.) Britton & Rose, selecionaram-se 3 indivíduos de cada uma, sendo a idade dos plantios de 30 anos. Foram realizadas análises não destrutivas de resistografia, extensometria e com o material obtido foram realizadas as análises físicas, mecânicas e de usinagem e trabalhabilidade. As análises das densidade e anisotropias apresentaram valores bastante próximos ao esperado, encontrados em literatura para as espécies. A resistografia apresentou amplitudes resistográficas (resistência percentual da madeira em relação à penetração da broca do aparelho) de 12,9 a 32,3% para as quatro espécies, e pela correlação moderada em relação as densidades analisadas pode-se considerar que este método pode ser aplicado para análise de densidade. Já a extensometria apresentou correlação significativa fraca em relação aos dados de propriedades físicas. Pode-se concluir que a qualidade da madeira das espécies estudadas demonstrou potencial para a indústria madeireira a partir de análises de usinagem estudadas. De acordo com a relação densidade x Dureza Janka, as espécies de Parajú e Angico preto demonstraram potencial para pisos a partir das análises mecânicas estudadas, obtendo valores médios altos de Dureza perpendicular e paralela. A metodologia de ultrassom, análise também considerada não destrutiva pois não danifica a peça avaliada, demonstrou que os resultados se correlacionam com as análises destrutivas podendo ser empregadas para a estimativa do módulo de elasticidade na flexão sem a utilização da amostragem destrutiva.

Palavras-chave: *Manilkara sp.*, *Centrolobium tomentosum*, *Dalbergia nigra*, *Senegalia polyphylla*, propriedades tecnológicas da madeira, análise não destrutivos, florestas nativas.

ABSTRACT

REIS, Claudia de Azevedo. **Evaluation of wood quality of four native Atlantic Forest species from homogeneous plantations.** 2018. 57 p. Dissertation (Master in Environmental and Forest Sciences). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2018.

The present research was carried out with the material from the experimental area provided by the Vale Natural Reserve, located in the municipality of Linhares, Espírito Santo, and its objective was to evaluate the quality of the wood of four native species of homogeneous forest plantations through analysis of physical properties, mechanical and machining of wood. Of the four species studied, *Manilkara sp.*, *Centrolobium tomentosum* Guillem. ex Benth., *Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex Benth. and *Senegalia polyphylla* (DC.) Britton & Rose, three individuals of each were selected, being the age of the plantations of 30 years. Non-destructive analyzes of resistography, extensometry and physical, mechanical, machining and workability analyzes were performed. The analyzes of density and anisotropy presented values close to the expected values and found in previous studies for the species. The resistography presented resistographic amplitudes (percentage resistance of the wood in relation to the penetration of the drill of the apparatus) from 12.9 to 32.3% for the four species, and by the moderate correlation in relation to the analyzed densities can be considered that this method can be applied for analysis of density. On the other hand, the extensometry showed a weak correlation with the physical properties data. It can be concluded that the wood quality of the studied species showed potential for the wood industry from the analysis of machining studied. According to the density ratio x Janka hardness, the Parajú and Angico black species showed potential for floors from the mechanical analysis studied, obtaining high average values of perpendicular and parallel hardness. The ultrasound methodology, also considered non-destructive because it does not damage the evaluated part, has shown that the results correlate with the destructive analysis and can be used to estimate the modulus of elasticity in the flexion without the use of destructive sampling

Keywords: *Manilkara sp.*, *Centrolobium tomentosum*, *Dalbergia nigra*, *Senegalia polyphylla*, technological properties of wood, non-destructive analysis, native forests.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fuste de parajú (<i>Manilkara sp.</i>). Foto: BONNET (2015).....	8
Figura 2. Árvore da espécie <i>Centrolobium tomentosum</i> localizada na área experimental da Reserva Natural Vale, Linhares (ES). Fonte: Claudia Reis.	9
Figura 3. Árvore de <i>Dalbergia nigra</i> da Reserva Natural Vale, Linhares (ES). Fonte: Claudia Reis.	10
Figura 4. Árvore de <i>Senegalia polyphylla</i> da Reserva Natural Vale, Linhares (ES). Fonte: Claudia Reis.	11
Figura 5. Equipamento de ultrassom Ultrasonic Tester BP – 7 Series; (A) Transdutores de faces planas; (B) Transdutores de faces exponenciais.	16
Figura 6. Reserva Natural Vale, local de obtenção do material utilizado para as análises. Fonte: Reserva Natural Vale	17
Figura 7. Plaina Baldan DPC-4 PF-32 utilizada nos testes de aplainamento. Fonte: Claudia Reis	21
Figura 8. Lixadeira de cinta Possamai PXA-7200. Fonte: Claudia Reis.....	22
Figura 9. Brocas utilizadas no teste de furação, da esquerda para direita as brocas helicoidais de 6, 8 e 12 mm e a broca chata de 26 mm. Fonte: Claudia Reis	23
Figura 10. Furadeira horizontal RAIMANN Fonte: Claudia Reis	24
Figura 11. Ensaios de flexão estática realizada na máquina universal de ensaios. Fonte: Claudia Reis.....	26
Figura 12. Instalação e medição das tensões/deformações de crescimento pelo extensômetro. (a) Abertura da janela; (b) Fixação dos pinos; (c) Instalação e calibração do extensômetro; (d) Perfuração no tronco com o arco de pua.	28
Figura 13. (a) Medição da amplitude resistográfica na orientação Norte-sul. (b) Reistógrafo utilizado no teste.	28
Figura 14. Análise macroscópica da madeira de <i>Manilkara sp. nova</i> . (a) Característica da madeira de Parajú. (b) Corte transversal, zoom 10x. Foto: José Henrique	30
Figura 15. Análise macroscópica da madeira de <i>Centrolobium tomentosum</i> . (a) Característica da madeira de Araribá. (b) Corte transversal, zoom 10x.	30
Figura 16. Análise macroscópica da madeira de <i>Dalbergia nigra</i> . (a) Característica da madeira de Jacarandá. (b) Corte transversal, zoom 10x.	31
Figura 17. Análise macroscópica da madeira de <i>Senegalia polyphylla</i> . (a) Característica da madeira de Angico preto. (b) Corte transversal, zoom 10x.	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Representatividade percentual qualitativa dos testes de usinagem	20
Tabela 2. Notas para avaliação do teste de aplainamento:	21
Tabela 3. Notas para avaliação do teste de lixa:.....	22
Tabela 4. Notas para avaliação do teste de furação:.....	23
Tabela 5. Notas para avaliação do teste de rasgo:.....	24
Tabela 6. Notas para avaliação do teste de inserção por pregos:	24
Tabela 7. Dados de Diâmetro a altura do peito (DAP) e altura (Ht) de cada árvore de cada espécie.	32
Tabela 8. Valores médios de Densidade básica (<i>pbas</i>), Densidade aparente (<i>pparente</i>), Coeficiente de Anisotropia (C_a), Retração Volumétrica (V_r): e Inchamento Volumétrico (V_i) de cada espécie por árvore e seus respectivos valores médios.	32
Tabela 9. Análise de Variância das densidades.....	33
Tabela 10. Resultados das análises de Tukey para a densidade básica das espécies.	33
Tabela 11. Valores médios de coeficiente de anisotropia das quatro espécies estudadas.	33
Tabela 13. Qualidade do teste de lixamento.....	34
Tabela 14. Avaliação dos testes de furação de cavilha.	35
Tabela 15. Avaliação dos testes de furação com broca chata.	35
Tabela 16. Avaliação dos testes de rasgo.	36
Tabela 17. Avaliação dos testes de inserção de pregos.....	36
Tabela 18. Módulos de Resistencia e de Elasticidade na Flexão de cada espécie por árvore.....	37
Tabela 19. Resultados das análises de Tukey para os resultados de flexão estática.	37
Tabela 20. Matriz de Correlação entre as Densidades básica e aparente com os Em e fm.	38
Tabela 21. Dados de módulo de resistência (fm) das quatro espécies tanto na unidade MPa quanto em Kgf/cm ²	39
Tabela 22. Resultado do teste de Tukey para os resultados de compressão paralela.....	39
Tabela 23. Matriz de correlação entre as densidades básicas e aparentes e módulo de resistência a compressão.	40
Tabela 24. Dados de cisalhamento paralela às fibras.....	41
Tabela 25. Resultado do teste de Tukey para resistência ao cisalhamento	41
Tabela 26. Correlação entre o módulo de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras e as espécies, densidade básica, aparente.	42
Tabela 27. Dados de dureza para cada espécie (axial e transversal).....	43
Tabela 28. Matriz de Correlação entre as Densidades Básica, Aparente e Dureza Janka.	43
Tabela 29. Dados da amplitude de resistência de todas as espécies e seus respectivos valores médios.	44
Tabela 30. Correlação entre as Densidades Básica, Aparente e Anisotropia com Resistografia.	44
Tabela 31. Dados de deformação residual longitudinal (DRL) de todas as espécies.....	45
Tabela 32. Correlação entre as propriedades físicas estudadas com a extensometria.	46
Tabela 33. Dados de Módulo de elasticidade dinâmico e estático na flexão de todas as espécies estudadas.	46
Tabela 34. Matriz de Correlação entre Em na Flexão e Emd também na flexão.	48

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS.....	2
2.1. Objetivo geral.....	2
2.2. Objetivos específicos.....	2
3. REVISÃO GERAL DE LITERATURA.....	3
3.1. Bioma Mata Atlântica.....	3
3.2. Silvicultura de Espécies Nativas.....	3
3.3. Uso de Madeira Nativa	5
3.4. Avaliação dos Plantios	6
3.5. Espécies Nativas Estudadas	7
3.5.1. Parajú (<i>Manilkara sp.</i>)	7
3.5.2. Araribá (<i>Centropium tomentosum</i> Guillem. ex Benth.).....	8
3.5.3. Jacarandá caviúna (<i>Dalbergia nigra</i> (Vell.) Allemão ex Benth.).....	9
3.5.4. Angico Preto (<i>Senegalia polyphylla</i> (DC.) Britton & Rose)	10
3.6. Avaliação da Qualidade da Madeira.....	11
3.6.1. Análises destrutivas	12
3.6.1.1. Propriedades Físicas da Madeira.....	12
3.6.1.2. Usinagem da Madeira	12
3.6.1.3. Propriedades Mecânicas da Madeira	13
3.6.2. Análises não destrutivas.....	13
3.6.2.1. Extensometria	14
3.6.2.2. Resistografia	14
3.6.2.3. Ultrassom	15
4. MATERIAL & MÉTODOS.....	16
4.1. Descrição da área de plantio e preparo do material avaliado.....	16
4.2. Análise Anatômica.....	18
4.2.1. Análises Macroscópicas	18
4.3. Análise das Propriedades Físicas	18
4.4. Usinagem e Trabalhabilidade da Madeira	20
4.4.1. Aplainamento.....	21
4.4.2. Lixamento	21
4.4.3. Teste de Furação.....	22
4.4.4. Teste de rasgo lateral	23
4.4.5. Teste de inserção de pregos	24
4.5. Análise de propriedades mecânicas pela máquina universal de ensaios	25
4.5.1. Determinação do módulo de elasticidade na flexão estática (Em)	25
4.5.2. Determinação da resistência à compressão paralela às fibras	26
4.5.3. Determinação da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras.....	27
4.5.4. Determinação da Dureza Janka Axial e Transversal.....	27
4.6. Verificação de deformações/tensões da madeira utilizando o extensômetro	27
4.7. Verificação da amplitude resistográfica da madeira utilizando o resistógrafo	28
4.8. Ultrassom	29

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
5.1. Análise Anatômica.....	29
5.1.1. Análise Macroscópica da Madeira.....	29
5.1.1.1. Parajú.....	29
5.1.1.2. Araribá.....	30
5.1.1.3. Jacarandá.....	30
5.1.1.4. Angico preto.....	31
5.2. Dados dendrométricos.....	31
5.3. Análise das Propriedades Físicas.....	32
5.4. Testes de Usinagem e Trabalhabilidade.....	34
5.4.1. Aplainamento.....	34
5.4.2. Lixamento.....	34
5.4.3. Teste de furação.....	35
5.4.4. Teste de rasgo lateral.....	36
5.4.5. Teste de inserção de pregos.....	36
5.5. Análise de Propriedades mecânicas pela máquina universal de ensaios.....	37
5.5.1. Determinação do módulo de elasticidade e de resistência na flexão estática.....	37
5.5.2. Determinação da resistência a compressão paralela às fibras.....	39
5.5.3. Determinação da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras.....	40
5.5.4. Determinação da Dureza Janka.....	42
5.6. Resistografia.....	44
5.7. Extensometria.....	45
5.8. Determinação do Módulo de Elasticidade Dinâmica na Flexão (Emd) através de Ultrassom e sua comparação com Módulo de Elasticidade Estático na Flexão (Em).....	46
6. CONCLUSÕES.....	49
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50
8. ANEXOS.....	57

1. INTRODUÇÃO

A região ocupada pela Mata Atlântica é uma das áreas de grande contribuição para purificação do ar no território nacional, auxiliando na regulação do clima, na proteção do solo (ajudando a evitar deslizamentos de terra) e na proteção de rios e nascentes, favorecendo o abastecimento de água nas cidades. Infelizmente, o bioma representado pela Mata Atlântica é também um dos mais ameaçados do planeta, mesmo sendo a maior referência em biodiversidade para o Brasil e para o mundo, onde existe a maior diversificação do país quando consideradas plantas terrestres, fungos e algas (FORZZA et al., 2010).

Ao longo do tempo, o processo de ocupação da costa brasileira levou à intensa derrubada de florestas do bioma Mata Atlântica para fins de exploração madeireira, resultando em grande diminuição de cobertura vegetal.

A situação dos remanescentes florestais de Mata Atlântica, atualizada para 2010-2011 (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2012), aponta desflorestamentos da ordem de 13.312 hectares, ou 133 km², neste período. Destes, 12.822 hectares (ha) correspondem a desflorestamentos, 435 ha à supressão de vegetação de restinga e 56 ha à supressão de vegetação de mangue. Trata-se do bioma mais ameaçado do Brasil, restando somente 7,9% de remanescentes florestais em fragmentos acima de 100 ha.

Uma opção a recuperação de área desflorestada com o uso consciente e sustentável consiste no desenvolvimento de modelos de restauração e silvicultura de espécies nativas que gerem renda para o produtor, o que pode ser obtido por meio da exploração de produtos florestais madeireiros e não madeireiros a partir do manejo sustentável, bem como pelo pagamento por serviços ambientais.

Assim, espera-se que as áreas de plantios de nativas possam não só cobrir seus custos de implantação e manutenção, como também possam dar lucro, superando o custo de oportunidade de uso do solo da pecuária extensiva, que ocupa cerca de 75% da área agrícola do país e a maior parte das áreas degradadas com necessidade de restauração florestal. Nesse contexto, a implantação de plantios de espécies nativas para a produção de madeira tropical tem se destacado como uma das alternativas mais promissoras para garantir o custeio da restauração, bem como o suprimento de madeira tropical para o mercado consumidor nacional e internacional (SILVA, 2013).

A indução do manejo para a produção exige inovação tecnológica no manejo florestal, e passa por uma profunda reflexão sobre a eficiência dos processos que levam ao crescimento. Hoje, existe conhecimento científico no que diz respeito ao comportamento do crescimento das árvores e ferramentas suficientes para que a inovação aconteça (HOSOKAWA, 2013). Como citado por Dosi (2006), a inovação cria novas oportunidades de negócios, novos mercados e aumento da receita.

Utilizando como exemplo o manejo madeireiro em espécies exóticas tradicionais no mercado nacional, a influência dos tratamentos silviculturais na qualidade da madeira de pinus tem sido estudada por diversos autores e há um consenso de que o espaçamento original, adubação, podas e desbastes influenciam na formação do lenho e na qualidade da madeira (KLOCK, 1989). Desta maneira, com toda essa diversidade de espécies nativas e uma crescente demanda de interesse em produtos nacionais, avaliar o desenvolvimento de indivíduos arbóreos utilizados na silvicultura e restauração florestal é de suma importância.

Além das metodologias tradicionais de avaliação da madeira, muitos estudos estão utilizando metodologias de análise que não efetuam a derrubada da árvore, sendo estas denominadas metodologias de análises não destrutivas. Além disso, temos as metodologias semi

destrutivas a qual há a derrubada da árvore, mas não há destruição da madeira em si, podendo ser usada posteriormente tanto pra móveis quanto estruturais. Essas metodologias têm se mostrado bastante efetivas, dando possibilidade do uso destas em detrimento das destrutivas.

Em contrapartida, ensaios que exigem o abate de árvores para o fornecimento de amostras ainda são de suma importância por analisarem com fidelidade as propriedades físicas, mecânicas e ainda de usinagem e trabalhabilidade, a fim de caracterizar a qualidade da madeira e possibilitar indicações adequadas de usos.

Lucas Filho (2004) descreve que o processo de transformação da madeira permite a agregação de grande valor ao produto, cabendo à usinagem grande parte desta “geração de valor”. Deve-se observar que a usinabilidade da madeira seja compatível com as necessidades de qualidade, custo e produtividade. Assim, faz-se necessário desenvolver estudos com a finalidade de caracterizar o efeito das propriedades das diferentes espécies sobre a usinabilidade.

As espécies avaliadas nesta pesquisa foram escolhidas devido a seu histórico de exploração, comercialização e seu potencial madeireiro, e ainda segundo informações prévias geradas por estudos silviculturais desenvolvidos por pesquisadores de diversas instituições que trabalham nas áreas dos plantios. As amostragens foram realizadas em uma área de experimentação silvicultural, de acordo com a legislação vigente, o que representa um diferencial importante do presente trabalho, diferindo de outras pesquisas que utilizaram como materiais espécies amazônicas ou espécies exóticas.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar a madeira de quatro espécies nativas de Mata Atlântica, amostradas em plantios florestais homogêneos, verificando seu potencial para fins madeireiros através de análises destrutivas e não destrutivas.

2.2. Objetivos específicos

- Descrever a anatomia macroscópica da madeira das quatro espécies estudadas;
- Verificar as propriedades físicas de densidade básica, densidade aparente e coeficiente de anisotropia;
- Avaliar a usinabilidade das madeiras das espécies estudadas;
- Determinar o módulo de resistência (fm) das madeiras das quatro espécies através de ensaios destrutivos de compressão, flexão e cisalhamento realizados em máquina universal mecânica;
- Determinar o módulo de elasticidade estática (Em) das madeiras das quatro espécies através de ensaios destrutivos de flexão realizados em máquina universal mecânica;
- Analisar a qualidade da madeira através das propriedades mecânicas de dureza Janka, cisalhamento, compressão e flexão;
- Analisar as tensões de crescimento através da avaliação da deformação residual longitudinal (DRL) na madeira das quatro espécies;
- Analisar as amplitudes resistográficas através da avaliação da resistência à perfuração na madeira pelo Resistógrafo das quatro espécies;
- Determinar o módulo de elasticidade dinâmico (Emd) das madeiras das quatro espécies através da metodologia não destrutiva de ultrassom;

- Correlacionar os resultados dos métodos não destrutivos e destrutivos na estimativa do módulo de elasticidade de flexão das espécies estudadas (módulo de elasticidade estático x módulo de elasticidades dinâmico).

3. REVISÃO GERAL DE LITERATURA

3.1. Bioma Mata Atlântica

O bioma Mata Atlântica ocupa uma área de 1.110.182 km², corresponde a 13,04% do território nacional e é constituído principalmente por mata ao longo da costa litorânea que vai do Rio Grande do Norte ao Rio Grande do Sul. A Mata Atlântica passa pelos territórios dos estados do Espírito Santo, Rio de Janeiro e Santa Catarina, e parte do território do estado de Alagoas, Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraíba, Paraná, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul, São Paulo e Sergipe. Este bioma apresenta uma variedade de formações, engloba um diversificado conjunto de ecossistemas florestais com estrutura e composições florísticas bastante diferenciadas, acompanhando as características climáticas da região onde ocorre (ICMBIO, 2017).

Nas regiões onde ainda existe, a Mata Atlântica caracteriza-se pela vegetação exuberante, com acentuado higrofitismo. Entre as espécies mais comuns encontram-se algumas briófitas, cipós e orquídeas. A fauna endêmica é formada principalmente por anfíbios, mamíferos e aves das mais diversas espécies. É uma das áreas mais sujeitas a precipitação no Brasil sendo caracterizada por chuvas do tipo orográficas, em função das elevações do planalto e das serras (IBF, 2017).

A biodiversidade da Mata Atlântica é semelhante à biodiversidade da Amazônia, no entanto, há subdivisões do bioma da Mata Atlântica em diversos ecossistemas devido a variações de latitude e altitude. Há ainda formações pioneiras, sejam por condições climáticas, sejam por recuperação, zonas de campos de altitude e enclaves de tensão por contato. A interface com estas áreas cria condições particulares de fauna e flora. Cerca de 70% da população brasileira vive no território da Mata Atlântica, as nascentes e mananciais abastecem as cidades, e esse é um dos fatores que tem contribuído com os problemas de crise hídrica, associados à escassez, ao desperdício, à má utilização da água, ao desmatamento e à poluição (IBF, 2017).

O número de áreas protegidas na Mata Atlântica cresceu nos últimos anos com a contribuição do governo, mas a principal parte dos remanescentes da vegetação nativa ainda se mostra vulnerável às ações humanas. Fato este relacionado a inconsciência e a predação que acompanham a história do bioma desde a chegada dos primeiros navios portugueses ao país. As agressões humanas, como a extração de plantas e madeiras, têm causado perigosas ações na biota e consideráveis perturbações ambientais (MILARÉ, 2007).

3.2. Silvicultura de Espécies Nativas

A cobertura florestal brasileira está estimada em 463 milhões de hectares, estima-se que 98,5% sejam constituídos pela floresta natural, localizada predominantemente na região Norte do país. O restante (1,5%) da área corresponde às florestas plantadas, com uma porção mais ao centro-sul, que, embora reduzida, apresenta relevantes indicadores de eficiência produtiva e notória participação socioeconômica no setor. Nelas, os plantios predominantes são de espécies exóticas, a exemplo do eucalipto e do pinus (SFB, 2014).

O Serviço Florestal Brasileiro (2014) também afirma que as florestas, tanto nativas quanto plantadas, são essencialmente importantes para a economia brasileira. Todos os setores produtivos estão diretos ou indiretamente ligados aos produtos florestais, como exemplos: a indústria de base usa carvão vegetal como fonte de energia, a construção civil utiliza madeira e a agricultura necessita dos serviços ambientais fornecidos pelas florestas.

Segundo Bertolini et al. (2015) as informações existentes sobre espécies nativas com potencial madeireiro estão, na maioria das vezes, limitadas a aspectos da produção de mudas, havendo uma grande carência de informações sistematizadas principalmente quanto a implantação de plantios com finalidade comercial, indiferentemente do tipo de produto florestal pretendido. De acordo com os mesmos autores, este fato deve-se ao foco de estudo nas últimas décadas em espécies exóticas como os gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, havendo atualmente um considerável conhecimento sobre a silvicultura, propriedades tecnológicas da madeira, grandes incentivos na introdução e comercialização dessas espécies exóticas.

Neste sentido, têm-se buscado maior conhecimento sobre a silvicultura de espécies nativas que tenham crescimento rápido, aliado a alta produtividade de madeira, visando sua utilização na indústria madeireira. Para isso, é necessário que as instituições de pesquisa florestal voltem seus interesses para estudos de uso da biodiversidade nativa, incluindo as espécies madeireiras de ocorrência regional, sendo imprescindível o maior fomento a essas pesquisas, através de políticas públicas de apoio, visando não somente a conservação, mas também a produção, reprodução, a genética destas. Assim, a avaliação dos plantios e suas utilizações possíveis ou potenciais que as espécies nativas possuam devem ser estudadas (BERTOLINI et al., 2015).

Em 1965, foi instituída a Lei nº 4.771, que dispõe sobre o código florestal brasileiro e no Art. 12 há a descrição sobre a livre extração de lenha e demais produtos florestais ou a fabricação de carvão, nas florestas plantadas, desde que não sejam consideradas de preservação permanente. Nas demais florestas, isso dependeria das normas estabelecidas pelo Poder Público Federal ou Estadual.

Um grande desenvolvimento da produção madeireira ocorreu a partir da criação da Lei 5.106 de 1966, sobre os incentivos fiscais, onde o governo patrocinou uma política de reflorestamento em larga escala. Isso possibilitou um aumento de aproximadamente 500 mil hectares para cerca de seis milhões de hectares de florestas plantadas, onde mais de três milhões de hectares correspondiam ao plantio de *Eucalyptus* sp. e mais de dois milhões ao plantio de *Pinus* sp. Esta política de incentivos teve fim no ano de 1988, pelo excesso de concessão de incentivo fiscal e aumento exacerbado no desmatamento da região Amazônica (JANUÁRIO, 2008).

No ano de 2000, foi criado, através do Decreto nº 3.420 o Programa Nacional de Florestas, com cinco tipos de linhas de crédito (Popflora, Pronaf Florestal, FNO Floresta, FCO Pronatureza e FNE verde) para plantios florestais.

A Lei nº 11.428 de 2006 e sua regulamentação pelo Decreto 6.660 de 2008, que dispõem sobre a utilização e proteção da Mata Atlântica, apesar de regulamentarem o plantio de espécies nativas, desestimulam os produtores a explorarem economicamente espécies madeireiras nas formações florestais, uma vez que proíbem o manejo de vegetação primária em qualquer condição, e restringem na secundária em estágio avançado e médio de regeneração para fins comerciais, estágios esses que apresentam as principais fontes madeireiras exploráveis (BRASIL, 2006).

De acordo com o Código Florestal Brasileiro vigente (nº 12.651, de 25 de maio de 2012), a exploração de florestas nativas e formações sucessoras, de domínio público ou privado dependerá de licenciamento pelo órgão competente do Sisnama, mediante aprovação prévia de Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) que contemple técnicas de condução, exploração, reposição florestal e manejo compatível com os variados ecossistemas que a cobertura arbórea forme. Já o manejo e a exploração de florestas plantadas localizadas fora das Áreas de Preservação Permanente e de Reserva Legal são isentos de PMFS.

3.3. Uso de Madeira Nativa

A madeira é um dos mais materiais de utilização mais antigos no mundo. Desde a antiguidade até os dias atuais, a arte de trabalhar a madeira tem evoluído constantemente. Nossos antepassados descobriram a utilidade da madeira para se aquecer, cozinhar, fabricar armas e utensílios domésticos, construir casas, barcos e jangadas. Atualmente, além dessas aplicações, utilizamos este material nobre, versátil e durável para agregar beleza e sofisticação aos mais variados projetos de arquitetura e decoração.

A madeira possui características naturais que transformam cada objeto produzido a partir desta matéria prima, em um produto único e inigualável. A variedade de espécies e suas diversas colorações acentuam ainda mais sua beleza como atrativo visual e sua exclusividade de cores.

A cadeia produtiva da madeira pode ser segmentada em três grandes vertentes, se considerados os distintos usos finais. São elas: o processamento mecânico, o de papel e celulose e, o de energia, representado pela lenha e carvão vegetal (IBQP, 2002). Apesar da possível substituição, em algumas aplicações por novos materiais, a madeira continua sendo o insumo central na produção de móveis.

Além da tecnologia, os demais fatores de competitividade da indústria de móveis relacionam-se com novas matérias-primas, design, especialização da produção, estratégias comerciais de distribuição, entre outros. A dinâmica das inovações baseia-se, principalmente, naquelas que se referem ao produto, através do aprimoramento do design e da utilização de novos materiais (GORINI, 2001).

De acordo com Gorini (2001), a indústria moveleira é caracterizada pela reunião de diversos processos de produção, que envolve diferentes matérias-primas e uma diversidade de produtos finais, e pode ser segmentada, principalmente, em função dos materiais em que os móveis são confeccionados (madeira, metal e outros), assim como de acordo com o uso a que são destinados.

A segmentada demanda por móveis varia de acordo com o nível de renda da população e o comportamento de alguns setores da economia, particularmente a construção civil. A amplitude de renda da demanda torna o setor muito sensível às variações conjunturais da economia, sendo um dos primeiros a sofrer os efeitos de uma recessão. O gasto com móveis, em geral, situa-se de 1% a 2% da renda disponível das famílias, depois dos impostos (GORINI, 2001).

Os países de primeiro mundo têm buscado diferentes formas para incentivar a utilização da madeira no setor da construção civil. As províncias do Canadá, por exemplo, possuem maneiras diferentes de fazer isso. Em Ontário, uma iniciativa exige o uso da madeira como material preferencial nos edifícios que tem financiamento da província. Já na Columbia Britânica, província do Canadá, várias comunidades aprovaram resoluções que têm a intenção de utilizar a madeira na construção de prédios públicos.

Na Construção Civil, a madeira é empregada tanto na instalação do canteiro de obras, andaimes, escoramentos e nas fôrmas para concreto, quanto em esquadrias - portas e janelas -

estruturas de cobertura das residências, nos forros, pisos e em casas pré-fabricadas. Nos empreendimentos verticais, o maior consumo acontece na construção de andaimes e fôrmas para concreto. Já nas habitações horizontais, predomina a utilização nas estruturas de coberturas, onde são empregadas peças serradas como vigas, caibros, pranchas e tábuas.

Para fazer com que a madeira se torne ainda mais presente na construção civil, programas e incentivos na área tendem a envolver o governo, engenheiros, indústrias, e, principalmente, pesquisadores que estudam sobre o clima, as implicações nas áreas florestais, inovações na área do design e desenvolvimento econômico.

No Brasil tem crescido cada vez mais as pesquisas voltadas a produção madeireira em restauração florestal como também tem aumentado os estudos de plantios homogêneos de espécies nativas com a finalidade de atender a demanda da construção civil, visando melhoria do manejo e, conseqüentemente, a obtenção de madeira de maior qualidade.

3.4. Avaliação dos Plantios

Mendonça (2006) afirma que o valor da madeira está relacionado com a qualidade dos fustes e destaca a importância em estimar os volumes dos fustes e classificá-los segundo classes de qualidade, conforme seus respectivos diâmetros. Segundo o mesmo autor, essa preocupação em classificar qualitativamente os fustes vale tanto para povoamentos mistos quanto para homogêneos, sendo que, para povoamentos homogêneos, o processo de qualificação de fustes é mais simples de se realizar. A qualificação dos fustes é importante para proporcionar informações mais detalhadas e significativas sobre o que, como, quando e onde cortar; propiciando redução nos custos operacionais e conseqüentemente aumento dos rendimentos econômicos. No Brasil, há poucos trabalhos que são realizados para o desenvolvimento de metodologias de coleta e análise dos dados que levem em consideração as características qualitativas das árvores, por exemplo, para uso em serrarias (MENDONÇA, 2006).

Em relação à variável qualitativa tortuosidade do fuste das árvores, pode-se dizer que a mesma possui suma importância para a indústria madeireira, pois quanto mais tortuoso, menor será o aproveitamento comercial da madeira. Esse defeito pode ocorrer: pela intensidade de luz que a árvore recebe; pela própria genética da espécie; pela competição entre indivíduos; entre outros fatores que ocasionam a mudança da copa e proporcionam defeitos anatômicos, como por exemplo, grã irregular, presença de lenho de reação, entre outros fatores que favorecem o declínio do aproveitamento (MATTOS, 2002). A bifurcação da árvore acarreta em uma diminuição do fuste, limitando dessa forma a utilização da madeira para uso, isso é uma desvantagem considerando que irá reduzir a produção florestal, mesmo que a espécie possua qualidade do ponto de vista madeireiro, esta será descartada devido à presença de bifurcação. Portanto, analisar a qualidade do fuste é de extrema importância quando o objetivo é a produção de madeira, garantindo melhores rendimentos econômicos.

O presente estudo foi gerado a partir do Projeto VERENA (Valorização Econômica do Reflorestamento com Espécies Nativas) nasceu em 2015 e teve como fundadores o empresário Roberto Waack, o WRI Brasil e a União Internacional para a Conservação da Natureza (UICN).

Um dos seus objetivos foi demonstrar a viabilidade técnica e econômica da restauração e do reflorestamento com espécies nativas em larga escala, destacando os benefícios sociais e ambientais da atividade. Insere-se no contexto da contribuição brasileira para a solução do desafio climático, com foco na ampliação da cobertura florestal em áreas degradadas e no fortalecimento da economia florestal e de baixo carbono.

Uma equipe formada por economistas, engenheiros florestais e agrônomos especializados nas áreas florestal e agropecuária analisa como tais experiências foram construídas e sua cadeia de funcionamento. Esses especialistas estudam também os gargalos e fazem recomendações para o aprimoramento de políticas públicas visando à remoção de barreiras e a criação de incentivos para uma nova economia florestal. A partir desse trabalho, são desenvolvidas modelagens econômicas e planos de negócios consistentes e robustos para que as experiências das diferentes tipologias do contínuo florestal possam ser replicadas.

Mais especificadamente, o presente estudo foi gerado a partir de um projeto de avaliação de mais de vinte espécies nativas de Mata Atlântica de um plantio homogêneo localizado em área experimental da Reserva Natural Vale, localizada em Linhares (ES); em que as atividades propostas foram elaboradas por uma equipe de pesquisadores em conjunto com o Laboratório de Processamento da Madeira. As avaliações tiveram como objetivo verificar a qualidade da madeira, de plantios com média de 30 anos de idade, através de ensaios de usinagem, propriedades físicas e mecânicas da madeira, possibilitando assim indicações de uso para as espécies avaliadas. Para avaliação da qualidade para o uso madeireiro de um plantio é importante que seja realizada previamente uma análise visual das árvores de cada talhão, para que sejam selecionadas árvores de cada espécie que representem seu diâmetro médio, tenham fustes mais retilíneos e indivíduos que não tenham sofrido o efeito de borda, isto é, tenham se desenvolvido sem a influência de ventos e de outras espécies.

Além disso, as medidas dendrométricas foram realizadas com intuito de contribuir para o conhecimento e avaliação do talhão, fornecendo dados para cálculo do volume, também de suma importância.

3.5. Espécies Nativas Estudadas

3.5.1. Parajú (*Manilkara* sp.)

Popularmente conhecida como maçaranduba ou parajú, pertence ao grupo de espécies do gênero *Manilkara* e família da Sapotaceae (Figura 1). É uma das espécies mais empregadas em estruturas de madeira (NAHUZ et al., 2013), principalmente, nas regiões Centro Oeste, Sudeste e Sul do Brasil. Conforme o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 2017), a madeira de maçaranduba é pesada, dura, com densidade básica de $0,83\text{g/cm}^3$ e em relação a durabilidade natural é resistente ao ataque de fungos apodrecedores e cupins subterrâneos. Apresenta moderada resistência aos cupins de madeira seca e baixa resistência aos xilófagos marinhos.

Segundo a literatura a madeira de parajú tradicionalmente encontrada no mercado é moderadamente difícil de cortar e aplainar, tende a rachar quando pregada ou parafusada, sem furação prévia, porém é fácil de toronar e colar e recebe bom acabamento, pintura e verniz. A secagem ao ar é difícil, apresentando rachaduras, empenamentos e severo endurecimento superficial. A secagem em estufa deve ser lenta e controlada cuidadosamente. (JANKOWSKY, 1990)



Figura 1. Fuste de parajú (*Manilkara sp.*). Foto: BONNET (2015).

3.5.2. Araribá (*Centrolobium tomentosum* Guillem. ex Benth.)

O *Centrolobium tomentosum*, popularmente conhecida como araribá, pertence à família da Fabaceae e se caracteriza como uma espécie de grande porte, como ilustrado na figura 2, podendo chegar de 10 a 15 metros de altura, suas folhas são compostas imparipinadas, apresentam em média uma densidade básica considerada média, entre 0,55 a 0,58g/cm³ (SILVA et al., 1983; CRESPO et al., 1995).

Mainieri e Pereira (1965) afirmam que espécies de *Centrolobium* são usadas comumente na construção civil e naval, marcenaria de luxo, para móveis finos e em obras externas. Mais especificamente, *C. microchaete* é empregada na construção civil e naval e em obras externas e hidráulicas, assim como na confecção de tábuas e dormentes, além de ser considerada lenha de primeira qualidade (CARVALHO, 2003). *C. tomentosum* é citada para diversos usos, entre eles como cabos de ferramenta e de enxada (CARVALHO, 2003). *C. sclerophyllum* produz madeira, lenha e carvão de qualidade, apesar de ser espécie pouco conhecida (CARVALHO, 2014). *C. robustum* consta na literatura como adequada para mobiliário de luxo, peças torneadas, peças estruturais, tacos para assoalhos, dormentes e uso em construções externas (MAINIERI; CHIMELO, 1989).

Segundo o site Árvores do Brasil (2017), o uso do *Centrolobium tomentosum* é adequado ao paisagismo urbano pela sua floração vistosa, que ocorre de janeiro a fevereiro. Sua utilização fica um pouco comprometida pelos riscos inerentes aos frutos espinhentos, em geral no meio da mata e sobressaindo sobre as demais.

Em um estudo realizado pela Embrapa Floresta em Sooretama (ES) em 2015, foram coletadas informações ratificadas em entrevistas, com a observação que: “(...) araribá queima até verde, cresce bem, é madeira pesada, das melhores para serraria: “(...) em cabo de ferramenta aquece a mão quando se está trabalhando”.



Figura 2. Árvore da espécie *Centrolobium tomentosum* localizada na área experimental da Reserva Natural Vale, Linhares (ES). Fonte: Claudia Reis.

3.5.3. Jacarandá caviúna (*Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex Benth.)

Mais popularmente chamada de Jacarandá, a espécie pertence à família Fabaceae e tem sua ocorrência desde o Nordeste passando pelo Sudeste até o Paraná. Os frutos devem ser colhidos das árvores quando iniciarem a queda espontânea. A repicagem não é recomendada por causa da raiz pivotante (IPEF, 2017).

O jacarandá é uma árvore perenifólia a semicaducifólia, comumente encontrada com 15 a 25 m de altura e 15 a 45 cm de diâmetro. Possui tronco tortuoso e irregular; fuste com até 10 m de comprimento; como ilustrado na figura 3. A espécie possui características de secundária tardia a clímax e é exclusiva da Floresta Ombrófila Densa (Floresta Atlântica) dos Estados da Bahia, Espírito Santo, Rio de Janeiro e São Paulo; semiheliófila, tolerante ao sombreamento leve a moderado na fase juvenil (Lorenzi, 1992).

A madeira comercialmente encontrada do jacarandá apresenta referências de densidade básica de 0,87g/cm³, coloração marrom escura com listras pretas é muito durável e considerada muito valiosa no Brasil, procurada desde os tempos coloniais, para fabricação de móveis de luxo, além de ser usada na construção civil e na arborização urbana e paisagismo. É principalmente atacada pela "broca do tronco", no norte do Espírito Santo e sul da Bahia (IPEF, 2017).

Heinsdijk et al. (1965) afirmam que o jacarandá tinha mercado reconhecido em vários países, com preços altos, além de ser procurado pela indústria de laminados dos estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Paraná. Rizzini (1978) afirma que a madeira desta espécie é a mais valiosa das madeiras nacionais, atribuindo-lhe uma série de usos.



Figura 3. Árvore de *Dalbergia nigra* da Reserva Natural Vale, Linhares (ES). Fonte: Claudia Reis.

3.5.4. Angico Preto (*Senegalia polyphylla* (DC.) Britton & Rose)

O angico é uma árvore de copa frondosa, que proporciona boa sombra e alcança até 15 m de altura. A forragem dessa espécie apresenta bons teores de proteína bruta para alimentação animal. Ocupa quase todos os tipos de solo, mas não tolera os solos encharcados. É uma planta espinhenta, de casca áspera com manchas brancas (Figura 4). Suas folhas são de coloração verde-escura quando adultas e suas flores são pequenas, perfumadas, de coloração creme a branca. Tem ocorrência tanto na Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica e Pantanal (IPE, 2018).

As referências da madeira encontrada no mercado de angico preto descrevem um material difícil de ser trabalhado devido à sua dureza (densidade básica de $0,84\text{g/cm}^3$), provocando rápido desgaste das ferramentas de corte; no aplainamento, a presença de irregularidades da grã pode ocasionar o arrancamento das fibras (Jankowsky, 1990). Seus principais usos são lenha, carvão, marcenaria, e mais específicos: produtos madeireiros (peças torneadas, carvão, lenha, carpintaria e marcenaria), produtos não madeireiros (alimentação animal (forragem), apícola, medicinal, ornamental, produto bioquímico, substâncias tanantes) (IPE, 2018).



Figura 4. Árvore de *Senegalia polyphylla* da Reserva Natural Vale, Linhares (ES). Fonte: Claudia Reis.

3.6. Avaliação da Qualidade da Madeira

Barrichelo (1992) considera que "qualidade" é uma propriedade, atributo ou condição que distingue um determinado produto por melhor adequação ao seu uso. Em relação à madeira, os parâmetros principais de avaliação da qualidade são: tecnológicos (físicos, químicos, mecânicos, anatômicos, etc.) e silviculturais (espécie, procedência, idade, ritmo de crescimento, forma, conicidade da árvore, etc.). Para determinar ou reconhecer um desses parâmetros como sendo um índice de qualidade, deve-se: identificar a importância do parâmetro; estimar a sua variabilidade; estimar as possíveis correlações com outros parâmetros da madeira e do produto final.

De acordo com Beltrame et al. (2015), qualidade é a adequação da madeira para um determinado uso, atendendo os requisitos necessários do setor madeireiro para a fabricação de um produto. Alguns parâmetros que determinam as características da qualidade da madeira são: a densidade, o comportamento mecânico, a proporção de cerne e alburno, a proporção de madeira juvenil e madeira adulta, presença de defeitos como os nós, rachaduras, empenamentos, conicidade dentre outros (FLOREZ, 2012). Dessa forma, a adequada caracterização da madeira se torna uma etapa vital para o sucesso deste material como matéria-prima (COUTO, 2011).

É interessante para o processo industrial que a madeira tenha maior homogeneidade em suas características, evitando variações no processo produtivo e possível diminuição da qualidade dos produtos, facilitando o beneficiamento, classificação e adicionando maior rendimento a produção (VALE et al., 1995). A proporção de cerne e alburno, e de madeira juvenil e adulta, influenciam nas propriedades físicas e mecânicas da madeira e irão condicionar diretamente a destinação final da espécie em estudo e a qualidade dos produtos provenientes dela (FOELKEL, 1997).

A qualidade da madeira é o resultado da interação de fatores ambientais como espaçamento de plantio, tratos silviculturais, sítio, clima, solo e fatores genéticos. Assim, a adequação da madeira à sua utilização final requer a análise tanto das características intrínsecas associadas à formação da madeira, como dos fatores externos que afetam significativamente a qualidade da matéria-prima obtida (FLOREZ, 2012).

Deste modo, o estudo e a consequente melhoria da qualidade da madeira são de suma importância, pois aumentará a sua procura e, conseqüentemente, o seu valor de mercado, trazendo maior retorno econômico aos investimentos dos projetos florestais (OLIVEIRA, 2011).

3.6.1. Análises destrutivas

3.6.1.1. Propriedades Físicas da Madeira

Avaliar as características físicas da madeira é uma atividade muito importante, pois a partir dos resultados obtidos, têm-se as possibilidades de utilização do determinado material e também as informações de como tratá-lo para prolongar sua vida útil (TREVISAN, 2007).

Segundo Silva (2005), dependendo das espécies avaliadas, podem-se observar diversas variações nas propriedades físicas da madeira no sentido medula à casca, se apresentando em menores ou maiores magnitudes. Fato esse também observado quando há diferenças entre idades, pelos teores de cerne e alburno, os quais alteram significativamente a resistência a ataques por pragas, ou a resistência mecânica da mesma.

Os fatores que afetam as propriedades físicas da madeira podem ser relacionados com a própria madeira e com o ambiente em que a árvore se desenvolve (LATORRACA & ALBUQUERQUE, 2000). Contudo, Varghese et al. (2000) acreditam que as propriedades podem ser afetadas principalmente pela taxa de crescimento das árvores.

Dentre as propriedades físicas da madeira, pode-se destacar a massa específica como sendo a mais importante, pois está associada a maioria das outras propriedades da madeira e, segundo Latorraca & Albuquerque (2000), por ser importante na determinação da utilização da madeira em questão. De acordo com Hellmeister (1982), esta propriedade é a mais significativa quanto à caracterização de madeiras destinadas a construção civil, fabricação de chapas e à utilização na indústria moveleira.

Outra característica da madeira, comumente utilizada como índice de qualidade é a retratibilidade e inchamento, conseqüentemente a anisotropia da madeira. Essa característica geralmente está associada a empenamentos e rachaduras nas peças serradas.

3.6.1.2. Usinagem da Madeira

Segundo Burger & Richter (1991), a usinagem da madeira está atrelada a facilidade de seu processamento com o uso de instrumentos, desejando realizar não somente o corte, mas também produzir formas e superfícies esperadas, visando uma boa qualidade da peça final da forma mais economicamente viável possível.

A padronização das operações de usinagem é um estado satisfatório para um bom rendimento das atividades e qualidade do produto final, porém, tanto as características anisotrópicas quanto as diferentes propriedades físicas e mecânicas da madeira dificultam essa padronização, ocasionando com isso uma queda na produtividade.

Para Silva et al. (2009), quando a madeira é utilizada para fabricação de móveis, a usinagem bem executada melhora o desempenho em processos de acabamento superficial e viabiliza economicamente a operação de usinagem do dado material.

A usinagem da madeira inclui diversas operações, o aplainamento, o torneamento, o desengrosso, o desempeno, o recorte, a furação, o lixamento dentre outros que requerem máquinas específicas, que podem ser manuais ou automáticas. Contexto de usinagem para produção de móveis, as relações do comportamento da madeira com os equipamentos são relevantes para caracterizar o desempenho da matéria prima e máquina, quanto à qualidade do produto final.

3.6.1.3. Propriedades Mecânicas da Madeira

O esforço que uma peça de madeira pode suportar é afetado de forma expressiva pela direção de carga aplicada em relação à direção das fibras ou traqueoides, à duração da carga, massa específica, teor de umidade e temperatura da madeira (MORESCHI, 2014).

Em um projeto de vigas, assim como de outros elementos estruturais, o conhecimento dos módulos de elasticidade longitudinal (E) e transversal (G) é de fundamental importância (CHRISTOFORO, 2011). No Brasil, a caracterização da madeira na Flexão é feita de acordo com a norma ABNT NBR 7190:1997 (Projeto de Estruturas de Madeira), que preconiza o ensaio de flexão estática.

As pesquisas brasileiras que envolvem a caracterização de peças de madeira de dimensões estruturais seguem as premissas de métodos e cálculos contidos em documentos normativos internacionais, podendo-se citar os trabalhos de PIGOZZO et al. (2000), FIORELLI et al. (2009) e MIOTTO (2009).

3.6.2. Análises não destrutivas

Segundo ROSS et al., (1999) a avaliação não-destrutiva é definida como a ciência da identificação das propriedades físicas, químicas ou mecânicas de uma peça sem alterar a capacidade de uso final. Mesmo que exija a retirada de pequenos corpos-de-prova, esse tipo de análise geralmente não danifica a capacidade estrutural da madeira.

A amostragem para a determinação das propriedades tecnológicas da madeira geralmente implica no abate e destruição da árvore, impedindo que futuras observações sejam efetuadas ou ainda que a árvore sirva como matriz em programas de melhoramento florestal. Essa amostragem consome grande tempo e possui alto custo; assim, com os inconvenientes que isso traz, foram desenvolvidos os chamados métodos não-destrutivos (LIMA et al., 2007).

A avaliação através de métodos não destrutivos é uma ferramenta de expressiva importância para avaliação das características da madeira, pela sua rapidez de execução e custos mais baixos comparados aos métodos destrutivos, permitindo a análise de um maior número de amostras, possibilitando uma pré-avaliação do material ainda no campo, reduzindo as análises destrutivas em laboratórios (COUTO, 2011; OLIVEIRA, 2011).

O uso de técnicas não-destrutivas é muito mais seguro e preciso, do que a determinação de propriedades a partir de um lote representativo, principalmente no caso da madeira, material que apresenta grande variabilidade natural, mesmo dentro de uma mesma espécie ou até mesmo dentro de uma mesma árvore (MASSAK, 2010).

De acordo com Gouvêa et al. (2011) as técnicas não destrutivas têm sido cada vez mais utilizadas por vários setores florestais e industriais. A avaliação não destrutiva da madeira para determinação de suas características tecnológicas é um instrumento importante para o conhecimento da variabilidade entre indivíduos e a caracterização de material no campo, podendo ser utilizado em programas de melhoramento genético, já que seus resultados proporcionam a

qualificação da madeira sem que para isto o indivíduo seja destruído, logo não há perda do material genético podendo o mesmo ser replicado (COUTO, 2011).

Dentre as diversas técnicas não destrutivas, pode-se destacar a utilização dos equipamentos extensômetro e resistógrafo. Diversas pesquisas têm sido desenvolvidas com o objetivo de prever propriedades da madeira por meio de métodos não destrutivos, podendo-se citar como exemplo os trabalhos de Souza et al. (2003), Cardoso Júnior et al. (2005), Pádua et al. (2004), Trugilho et al. (2006), Gouvêa et al. (2011), Castro; Tomazello Filho (2014), Vidaurre (2015).

3.6.2.1. Extensometria

Segundo Lima (2004), entre os métodos considerados não destrutivos ou semidestruídos para medição das deformações associadas às tensões de crescimento está o desenvolvido pelo CIRAD-Forêt (BAILLÈRES; DURAND, 2000), que consiste em medir, com o auxílio de um relógio comparador, a deformação sofrida na área central entre dois pinos fixados a 45 mm um do outro, ao longo da grã, na superfície do tronco sem casca.

As medições de deformações são realizadas através do processo de liberação de tensões e movimentação dos pinos. Para isso, é feito um furo entre os pinos fixos no fuste após a retirada de uma porção da casca, com uma broca de 20 mm de diâmetro (LISBOA, 1993; LIMA, 2004; FLOREZ, 2012).

Essas tensões podem variar conforme sua intensidade, podendo ser de tração ou compressão em função da localização dentro do xilema e de sua direção de atuação: longitudinal, tangencial e radial (TRUGILHO et al., 2006).

O extensômetro tem como vantagem a facilidade de uso e a rapidez na coleta de dados no campo, pois a avaliação é feita na árvore em pé registrando dados de deformação residual longitudinal (DRL), a qual é relacionada diretamente com a tensão de crescimento (TRUGILHO et al, 2004). Quanto menor é o valor da DRL, menores serão as tensões internas de crescimento e a madeira, será mais favorável ao uso como produto sólido (FLOREZ, 2012).

Estudos realizados por Lima et al (2004), Gonçalves (2006), Gomes (2007) e Beltrame et al (2015) com espécies do gênero *Eucalyptus*, para determinar as deformações residuais longitudinais (DRL), concluíram que o equipamento possui facilidade no manuseio, rapidez na coleta dos dados, apresenta baixo custo e confiabilidade para a estimativa da tensão de crescimento das árvores.

3.6.2.2. Resistografia

O resistógrafo foi desenvolvido na Alemanha a princípio com o objetivo de obter um método fácil e seguro de avaliar defeitos internos em árvores, em postes e em estruturas de madeira. Algum tempo depois foi proposta a sua utilização para predição de densidade, através da correlação da resistência à penetração na madeira com a densidade da mesma (DIAS, 2011). Atualmente, além de realizar o objetivo inicialmente proposto, o resistógrafo tem sido utilizado indiretamente para realização de inferências quanto à qualidade da madeira (COUTO, 2011).

O resistógrafo registra com precisão a diferença existente entre a densidade intacta da madeira e as zonas apodrecidas, representada no gráfico gerado pelo equipamento ao longo do teste, por um decaimento do valor da densidade. Também podem ser observadas as variações dentro dos anéis de crescimento (GOMES, 2007).

De acordo com Rinn et al. (1996), o princípio de funcionamento do resistógrafo consiste na perfuração de uma broca de 3 mm de diâmetro na madeira, a haste da broca avança radialmente no tronco, a uma velocidade constante e a cada 0,01 mm de penetração são registrados valores de resistência. Ao atravessar a madeira, a broca encontra intensidades diferentes de resistência, refletindo a condição estrutural das paredes celulares, as variações entre lenhos inicial e tardio nos anéis de crescimento e a forma em que a árvore tem se desenvolvido em resposta às condições ambientais. A variação na resistência resulta em aumentos e decréscimos na intensidade de torque aplicado à haste da broca. Por meio de sensores mecânicos e eletrônicos, variações no torque correspondentes ao consumo de potência do equipamento são medidas eletronicamente como um valor de resistência à perfuração.

A medição fornecida pelo resistógrafo é denominada de amplitude pelo fabricante sendo expressa em porcentagem. A amplitude indica o consumo energético para a broca vencer a resistência à perfuração na madeira em relação a um valor de referência do aparelho, em que 0% de amplitude indica que não há material algum de resistência e 100% quando a broca não consegue perfurar a material madeira. Em teoria, quanto mais denso o material maior a dificuldade de perfuração pela broca e, portanto, maior será o valor da amplitude (COUTO, 2011).

Alves (2012) ressalta que a utilização do resistógrafo mostra ser sensível a variação do teor de umidade da árvore. Dessa forma, é necessário evitar condições do ambiente após chuvas ou estações longas de seca em que serão realizados os ensaios, quando o objetivo é comparar características de árvores.

O uso do resistógrafo poderá trazer significativas vantagens e facilidades ao planejamento de abastecimento da indústria assim como as avaliações de populações em programas de melhoramento genético, já que há possibilidade de avaliar maior número de árvores com menor esforço e custo (DIAS, 2011).

Estudos desenvolvidos no Brasil por Couto (2011), Gouvêa et al. (2011) e Lima et al. (2007), utilizaram o resistógrafo para estimar a densidade em *Eucalyptus* e obtiveram boas correlações entre a densidade da madeira e a amplitude registrada pelo aparelho, concluindo que o equipamento é adequado para a estimativa da densidade da madeira. Segundo Gantz (2002) e Rodrigues et al. (2008) o resistógrafo é eficiente para avaliação da densidade da madeira em árvores vivas e para a seleção de materiais genéticos no campo.

3.6.2.3. Ultrassom

Diversos autores em todo o mundo, e também no Brasil, vêm estudando a possibilidade de se utilizar o ensaio de ultrassom, também caracterizado como não-destrutivo por não danificar a peça a ser avaliada, na avaliação de propriedades de resistência e de rigidez da madeira. Massak (2010) concluiu que ao considerar peças estruturais, normalmente são estudadas as correlações entre os parâmetros do ensaio não destrutivo – velocidade na direção longitudinal (V_{LL}) e/ou coeficiente da matriz de rigidez decorrente do uso desta velocidade (C_{LL}) – e do ensaio destrutivo de flexão estática – Módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR).

Waubke (1981), na Alemanha, foi o primeiro pesquisador a aplicar os resultados de V_{LL} e C_{LL} na classificação de peças estruturais de madeira através do ultrassom, por meio da correlação com MOE e, conseqüentemente, com classes de rigidez.

No Brasil, Bartholomeu (2001), a exemplo de Waubke (1981) e de Sandoz (1990) também propôs a classificação mecânica da madeira crescida no país (nativa e de floresta plantadas) por meio de correlação de C_{LL} e V_{LL} com classes de resistência e de rigidez. Como

consequência do seu trabalho de doutorado e, adicionalmente, com ensaios de outras espécies, foi aprovada, em novembro de 2007, a NBR 15521: Ensaios não destrutivos — Ultrassom — Classificação mecânica de madeira serrada de dicotiledôneas. Atualmente encontra-se em andamento o estudo de norma que contemple a classificação de coníferas.

Preziosa (1982) utilizando ultrassom e, por outros autores por ele citados, utilizando ensaios estáticos destaca que apesar da madeira ser proveniente de amostragens diferentes, os valores em geral são adequadamente correspondentes e que a comparação entre ensaios estáticos e dinâmicos deve sempre levar em conta o comportamento não elástico linear da madeira submetida ao ensaio estático de compressão ou de flexão.

Entre as vantagens de sua utilização, vale destacar que o ultrassom tem baixo custo de aquisição do equipamento se comparado ao das máquinas de classificação automática (muito utilizadas nos Estados Unidos e na Europa), e o treinamento da mão de obra é relativamente simples para utilização do equipamento, possibilitando que o método seja facilmente difundido em revendedores e indústrias de madeiras e derivados (OLIVEIRA, 2000).

O equipamento de ultrassom utilizado foi Ultrasonic Tester BP – 7 Series (Figura 5a) e transdutores de 45 kHz de faces planas (Figura 5b) no caso das peças de maior dimensão e de faces exponenciais (Figura 5c) nas peças menores, de tal forma que o transdutor sempre ficasse circunscrito à peça ensaiada, obedecendo as prescrições da NBR 15521 (2007).



Figura 5. Equipamento de ultrassom Ultrasonic Tester BP – 7 Series; (A) Transdutores de faces planas; (B) Transdutores de faces exponenciais.

4. MATERIAL & MÉTODOS

4.1. Descrição da área de plantio e preparo do material avaliado

A área de plantio foi talhões experimentais da Reserva Natural Vale (Figura 7) com estudo de mais de 100 espécies, localizada na cidade de Sooretama, divisa com a cidade de Linhares, no norte do estado do Espírito Santo.

O relevo desta região é caracterizado por uma sequência de colinas tabulares, formadas por sedimentos terciários, e que atingem, em média, 70-80 m de altitude. O clima da reserva apresenta estação chuvosa no verão e seca no inverno, sendo a precipitação média anual de 1.100 mm, enquanto a temperatura média anual é de 23°C, média máxima e mínima de 34 e 15°C, respectivamente; e a umidade relativa do ar de 83 % (Meis, 1976).

A vegetação do entorno corresponde à Floresta Atlântica de Tabuleiros e apresenta características únicas que a distinguem da Floresta Atlântica típica, isto é, a que recobre a região serrana (Rizzini et al., 1997). O solo predominante é o argissolo amarelo, ocupando as áreas em relevo plano ou suave ondulado. Este solo apresenta um horizonte A moderado, que alcança 17 cm, e um B textural, que atinge quase 2 m, sendo bem drenado. A capacidade de troca catiônica, assim como a soma de bases, é baixa, caracterizando a pobreza química do solo (Garay et al., 1995).

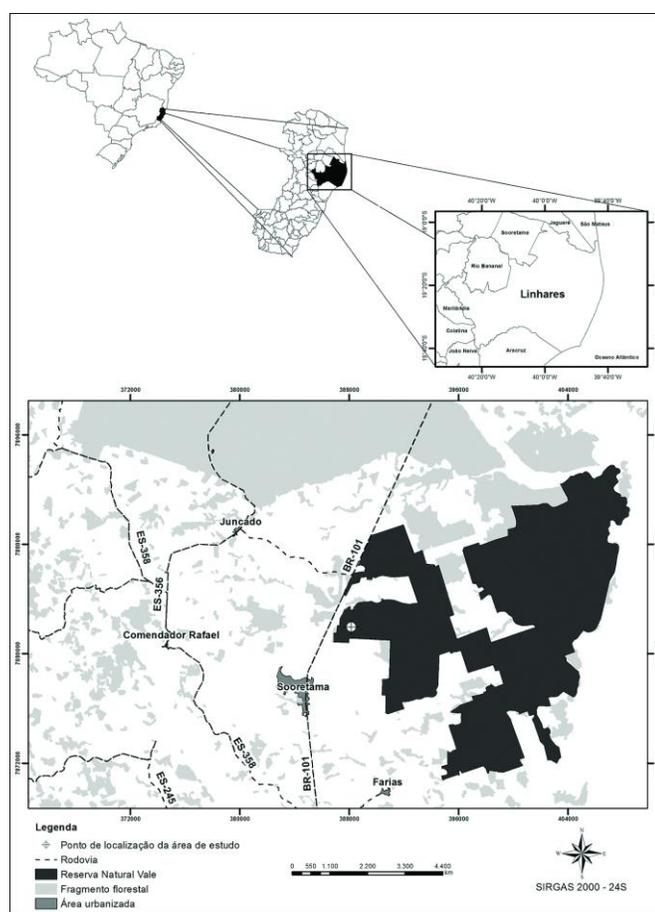


Figura 6. Reserva Natural Vale, local de obtenção do material utilizado para as análises. Fonte: Reserva Natural Vale

Para a realização dos testes foram selecionadas quatro espécies e três árvores de cada espécie de plantios homogêneos constituídos de árvores nativas, totalizando 12 árvores analisadas. As quatro espécies foram selecionadas para este estudo pelo seu valor e uso na indústria madeireira, além da representação qualitativa nos talhões, isto é, árvores com diâmetros médios e troncos mais retilíneos visando um melhor aproveitamento quando desdobradas. A

amostragem de três árvores por espécie foi mínima por questões de logística de transporte e não interferir na dinâmica de crescimento dos indivíduos restantes do talhão.

As primeiras toras, medindo cerca de 2,10 metros, das árvores selecionadas cortadas em campo, cumprindo toda a legislação para corte e transporte, foram levadas para a serraria do Departamento de Produtos Florestais, do Instituto de Floresta da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, onde foram desdobradas em tábuas de 2,10m de comprimento, largura de acordo com cada árvore e altura de 7 cm para as tábuas diametraais e 2,5 cm para as restantes, e conseqüentemente secas ao ar em ambiente coberto e levadas para o Laboratório de Processamento Mecânico da Madeira, localizado no mesmo Instituto. Após a secagem das tábuas, foram confeccionados os corpos de prova para a realização de cada avaliação proposta.

4.2. Análise Anatômica

Para a análise anatômica de cada espécie foi utilizado um corpo de prova com dimensões de 2 x 2 x 2 cm na direção radial, tangencial e axial, respectivamente, atentando para correta orientação.

4.2.1. Análises Macroscópicas

Para macroscopia, os corpos de prova foram analisados e descritos macroscopicamente nos planos transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial, e para melhor visualização dos caracteres macroscópicos foi utilizada lupa conta-fia com aumento de 10X. As amostras foram aplainadas e lixadas com uma sucessão de lixas até a de maior gramatura, grão 1200 com o objetivo de ressaltar as estruturas anatômicas características de cada espécie.

4.3. Análise das Propriedades Físicas

Para as análises de propriedades físicas foram confeccionados seis corpos de provas de dimensões de comprimento, largura e espessura iguais a 5 x 3 x 2 cm respectivamente, totalizando dezoito amostras por espécie, somando 72 corpos de prova. Neste estudo foi necessária a utilização de uma balança de precisão, um paquímetro para medição das dimensões e estufa com circulação forçada de ar para secar as amostras.

Estas amostras foram pesadas e feitas medições de acordo com suas direções transversais, tangenciais e radiais, obtendo-se o volume e peso verde. Em seguida, foram imersos em água até atingirem a saturação, onde a diferença de peso no intervalo mínimo de 6 horas não poderia ser maior que 5%.

Após saturação, as amostras foram novamente pesadas e medidas obtendo-se assim o peso e volume saturado. Em seguida, os corpos de prova foram levados para estufa com temperatura de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, até atingirem peso constante, o que proporcionou a obtenção do volume seco.

Deste modo, foi possível determinar o teor de umidade dos corpos de prova desde sua condição saturada a completamente secos, assim como a densidade básica, densidade aparente e os índices de retração.

Para a obtenção da densidade básica da madeira considera-se os valores do peso seco e os valores de dimensões saturadas (Equação 1):

$$\rho_{bas} = \frac{m_s}{V_{sat}} \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde:

ρ_{bas} = Densidade básica, g/cm³;

m_s = Peso seco obtido em estufa a 103 ± 2° C, g;

V_{sat} = Volume na condição de saturação, cm³.

Já a densidade aparente é definida pela razão entre massa e o volume de corpos de prova, para um mesmo teor de umidade, neste caso, a umidade de equilíbrio higroscópica, foi utilizada a equação descrita abaixo:

$$\rho_{aparente} = \frac{m_{Tu}}{V_{TU}} \quad \text{(Equação 2)}$$

Onde:

$\rho_{aparente}$ = Densidade aparente, em g/cm³;

m_{Tu} = Massa da madeira, em gramas, para um dado teor de umidade (TU);

V_{TU} = Volume da madeira, em cm³, para um dado teor de umidade (TU).

A estabilidade dimensional da madeira é caracterizada pelas propriedades de retração e de inchamento, nas direções tangencial, radial e longitudinal. As deformações específicas de retração e de inchamento são consideradas como índices de estabilidade dimensional e são determinadas, para cada uma das direções preferenciais, em função das respectivas dimensões da madeira saturada e da madeira seca, sendo dadas pelas seguintes equações:

$$\text{Retração} \quad \varepsilon_{r(i)} = \frac{L_{sat} - L_{sec}}{L_{sat}} * 100 \quad \text{(Equação 3)}$$

$$\text{Inchamento} \quad \varepsilon_{r(i)} = \frac{L_{sat} - L_{seca}}{L_{seca}} * 100 \quad \text{(Equação 4)}$$

Onde:

L_{sat} = Dimensão na direção i (i = radial, i = tangencial ou i = longitudinal) na condição saturada;

L_{seca} = Dimensão na direção i (i = radial, i = tangencial ou i = longitudinal) na condição seca.

A variação volumétrica foi determinada em função dos corpos de prova nos estados saturado e seco, foi calculada através das equações:

$$\text{Retração volumétrica} \quad \Delta V_r = \frac{V_{sat} - V_{seca}}{V_{sat}} * 100 \quad \text{(Equação 5)}$$

$$\text{Inchamento volumétrico} \quad \Delta V_r = \frac{V_{sat} - V_{seca}}{V_{seca}} * 100 \quad \text{(Equação 6)}$$

Onde:

V_r = Variação volumétrica para retração;

V_i = Variação volumétrica para inchamento

V_{sat} = Produto das dimensões radial, tangencial e longitudinal na condição saturada;

V_{seca} = Produto das dimensões radial, tangencial e longitudinal na condição seca.

O coeficiente de anisotropia é o índice mais importante para a avaliação da estabilidade dimensional da madeira, já que esta está constantemente sujeita a contrações e inchamento de acordo com as intempéries ambientais (CHIES, 2005). Para calcular o coeficiente de anisotropia utiliza-se a Equação 7:

$$C_a = \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_r} \quad \text{(Equação 7)}$$

Onde:

C_a = Coeficiente de anisotropia;

ε_t = Deformação específica de retração tangencial;

ε_r = Deformação específica de retração radial.

Os autores Durlo e Marchiori (1992) e Chies (2005) estabeleceram classificações para a madeira com base nos valores obtidos pelo coeficiente de anisotropia:

- 1,2 a 1,5: a madeira é considerada de excelente estabilidade dimensional.
- 1,5 a 2,0: a madeira é considerada de estabilidade dimensional normal.
- Acima de 2,0: a madeira é considerada de estabilidade dimensional ruim.

4.4. Usinagem e Trabalhabilidade da Madeira

Os corpos de prova para os ensaios de usinagem e trabalhabilidade realizados neste estudo foram produzidos com dimensões de 30 x 12 x 2,5 cm cada um. Foram confeccionados seis corpos de prova por árvore segundo adaptações dos parâmetros estabelecidos pela norma ASTM D 1667-87 (1995).

Com a confecção de dezoito amostras por espécie, os corpos de prova foram submetidos a testes de trabalhabilidade que, de acordo com o desempenho, mostram a aptidão da madeira para ser processada em cada ferramenta ou equipamento utilizado. Foram realizados testes de aplainamento, lixamento da superfície, furação, inserção de pregos e rasgo lateral.

Visando maior representatividade e menor erro amostral, as amostras foram passadas por três avaliadores, atribuindo qualitativamente notas a partir do desempenho de cada corpo de prova após os testes de usinagem de acordo com a norma ASTM D 1667-87.

Essas notas foram representadas em percentagem de acordo com a Tabela 1:

Tabela 1. Representatividade percentual qualitativa dos testes de usinagem

Qualidade dos testes		
Nota	Porcentagem de	Definição
s	defeitos	
1	0-20 %	Excelente: superfícies isentas de quaisquer defeitos
2	20-40 %	Boa: presença de defeitos leves em até metade da peça Regular: presença de defeitos médios, ou leves na maior parte da
3	40-60 %	peça
4	60-80 %	Ruim: presença de defeitos fortes em até metade da peça
5	80-100 %	Muito ruim: presença de defeitos fortes na maior parte da peça

4.4.1. Aplainamento

No teste de aplainamento foi utilizada uma Plaina Baldan DPC-4 e avanço PF-32 com velocidade de alimentação de 10 m/s e rotação de 3600 rpm (Figura 7). Neste processo, uma face das amostras passa pela plaina em sentido concordante à grã em 50% da espessura e em sentido discordante à grã (apenas virando ao contrário para passar na plaina) na outra metade. Podemos definir a face concordante e discordante pela textura da face após passar na plaina, em que a face discordante apresente maior aspereza e fibras levantadas, já a concordante terá aspecto mais liso.



Figura 7. Plaina Baldan DPC-4 PF-32 utilizada nos testes de aplainamento. Fonte: Claudia Reis

Em seguida, as amostras foram avaliadas de acordo com a presença de quatro diferentes defeitos, sendo eles: grã felpuda, grã levantada, grã arrancada e marcas de cavaco. Nesta avaliação foram atribuídas as notas apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Notas para avaliação do teste de aplainamento:

Nota	Defeitos
1	<i>Excelente:</i> superfícies isentas de quaisquer defeitos
2	<i>Boa:</i> presença de defeitos leves em até metade da peça
3	<i>Regular:</i> presença de defeitos médios, ou leves na maior parte da peça
4	<i>Muito ruim:</i> presença de defeitos forte na maior parte da peça

4.4.2. Lixamento

Na face oposta ao teste de aplainamento foi realizado o teste de lixamento, o qual busca dar um acabamento melhor à superfície da peça e, posteriormente, realizar os outros testes que utilizarão essa face do corpo de prova.

Para lixar as amostras foi utilizada uma Lixadeira de cinta Possamai PXA-7200, com dimensão da lixa de 7 m (ida e volta) e 15cm de espessura e granulometria da lixa (grão) de 120

(Figura 8). O processo do teste de lixamento é simples, bastando pressionar a peça contra a lixa, impondo uma pressão constante nesta amostra por uma determinada quantidade de tempo (20 segundos), repetindo isso para todas as amostras, aplicando-se sempre a mesma pressão em todos os corpos de prova.



Figura 8. Lixadeira de cinta Possamai PXA-7200. Fonte: Claudia Reis

A avaliação do lixamento consiste na análise do riscamento de superfície e ocorrência de grã felpuda, por meio da observação visual. Nesta análise foram atribuídas as seguintes notas (Tabela 3):

Tabela 3. Notas para avaliação do teste de lixa:

Nota	Defeitos
1	<i>Excelente</i> : superfícies isentas de quaisquer defeitos
2	<i>Boa</i> : superfície com riscamento ou grã felpuda em apenas uma parte pequena da peça
3	<i>Regular</i> : presença de riscamento ou grã felpuda em metade da superfície da peça
4	<i>Ruim</i> : presença de riscamento ou grã felpuda em maior parte da peça
5	<i>Muito ruim</i> : presença de riscamento ou grã felpuda em quase que totalidade da peça

4.4.3. Teste de Furação

No teste ou ensaio de furação foram utilizados dois diferentes tipos de brocas, a broca helicoidal para os furos do tipo cavilha e a broca chata para o furo do tipo furação para dobradiça. As brocas helicoidais utilizadas foram de aço e possuíam 6, 8 e 12 mm de diâmetro, já a broca chata possuía 26 mm de espessura de corte (Figura 9).



Figura 9. Brocas utilizadas no teste de furação, da esquerda para direita as brocas helicoidais de 6, 8 e 12 mm e a broca chata de 26 mm. Fonte: Claudia Reis

Os furos foram realizados a uma distância de 3 cm entre si, ao longo da superfície lixada da peça, para não ocasionar interferências nas futuras avaliações. Todos os furos do tipo cavilha foram passantes, ou seja, atravessaram toda a espessura da peça, já os furos do tipo dobradiça, executado pela broca chata de 26 mm, foram um deles passante e não-passante logo ao lado.

Após a produção dos furos analisou-se a presença de defeitos como grã felpuda, arrancamento de grã e queima da madeira. Para efetuar essa avaliação foram atribuídas as seguintes notas (Tabela 4).

Tabela 4. Notas para avaliação do teste de furação:

Nota	Defeitos
1	<i>Excelente:</i> ausência de defeito em qualquer um dos furos
2	<i>Boa:</i> presença de defeito leve em apenas um ou dois dos furos
3	<i>Regular:</i> presença de defeito leve, em metade dos furos, ou presença de defeito médio
4	<i>Ruim:</i> presença de defeitos severos em um furo, ou presença de defeito médio na maior parte dos furos
5	<i>Muito ruim:</i> presença de defeito severo em mais de um furo

4.4.4. Teste de rasgo lateral

O teste de rasgo lateral analisa se, ao ser cortada a lateral da amostra na confecção de uma furação do tipo rasgo, as fibras da madeira que sofreram levantamento como defeito aparente. Para esse teste foi utilizada uma furadeira horizontal RAIMANN (Figura 10) com avanço manual da profundidade de furação e movimentação lateral da fresa, equipada com broca helicoidal de 8mm e corte a direita. Para realizar o rasgo lateral, a peça é pressionada contra a mesa de frente a broca; em seguida, o rasgo é feito em partes, realizando pequenos furos no local marcado e após essa etapa, juntam-se os furos para formar um só rasgo na lateral.



Figura 10. Furadeira horizontal RAIMANN Fonte: Claudia Reis

Para a execução dessa avaliação foram aplicadas notas de um a cinco de acordo com o levantamento de fibras apresentados nas superfícies do rasgo (Tabela 5):

Tabela 5. Notas para avaliação do teste de rasgo:

Nota	Defeitos
1	<i>Excelente:</i> ausência de levantamentos de fibras em qualquer das quatro bordas e no fundo
2	<i>Boa:</i> presença de levantamento leve em uma ou duas faces quaisquer
3	<i>Regular:</i> presença de levantamento forte em uma e leve em outra
4	<i>Ruim:</i> presença de levantamento forte em duas a quatro faces quaisquer e fundo isento de levantamento
5	<i>Muito ruim:</i> presença de levantamento forte nas quatro faces e no fundo

4.4.5. Teste de inserção de pregos

O teste de inserção por pregos foi realizado utilizando-se pregos 15 x 15 com cabeça (nome comercial) com 30 mm de comprimento e 2,4 mm de diâmetro. Os pregos foram fixados na amostra com o auxílio de um martelo sendo os espaçamentos de 20 mm entre si e a 10 mm das bordas das peças. A avaliação levou em conta a ocorrência de trincas ou rachaduras no local de penetração do prego. Os resultados foram classificados conforme a Tabela 6:

Tabela 6. Notas para avaliação do teste de inserção por pregos:

Nota	Defeitos
Aceita	Amostra sem rachas ou trincas, ou dimensões insignificantes destes, não alcançando o topo das amostras.
Não aceita	Amostras apresentando trincas e rachaduras indo de cima a baixo.

4.5. Análise de propriedades mecânicas pela máquina universal de ensaios

A quantidade de corpos de prova produzidos para a avaliação de propriedades mecânicas seguiu a caracterização simplificada que recomenda o número mínimo de seis corpos de prova por ensaio descrito pela norma NBR 7190 (1997).

4.5.1. Determinação do módulo de elasticidade na flexão estática (Em)

Foram utilizadas no ensaio de flexão estática para obtenção do módulo de elasticidade à flexão estática (MOE) três corpos de prova por árvore por espécie, totalizando 9 corpos de prova por espécie de 5 cm x 5cm x 115cm. Nos ensaios, as peças foram submetidas a um carregamento constante de 10 MPa/minuto, aplicado no meio do vão (Figura 11). A partir dos dados de força e deslocamento gerados pelo software Pavitest Madeira 2.77 que gerencia a máquina universal de ensaios, foram calculados em uma planilha eletrônica os módulos de elasticidade na flexão estática. Este cálculo foi dado a partir da Equação 8 e 9:

$$MOE = \frac{\Delta_N}{\Delta_d} * \frac{L^3}{I * 48} \quad \text{(Equação 8)}$$

$$\text{Sendo: } I = \frac{bh^3}{12} \quad \text{(Equação 9)}$$

Onde:

MOE = Módulo de Elasticidade Estático

Δ_N = Variação das tensões de flexão correspondente a 10% e 50% da resistência máxima à flexão;

Δ_d = Variação das deformações específicas correspondente a 10% e 50% da resistência máxima à flexão;

I = Inércia (calculada na Equação 9);

b = Comprimento da altura dos corpos de prova;

h = Comprimento da largura dos corpos de prova.



Figura 11. Ensaio de flexão estática realizada na máquina universal de ensaios. Fonte: Claudia Reis

4.5.2. Determinação da resistência à compressão paralela às fibras

No ensaio de compressão paralela às fibras foram ensaiados 6 corpos de prova por espécie, confeccionados com dimensões de 5 x 5 x 15 cm, com a maior dimensão na direção das fibras, para obtenção da tensão de ruptura e do módulo de elasticidade e tensão no limite de proporcionalidade.

A resistência à compressão paralela às fibras é dada pela máxima tensão de compressão que pode atuar em um corpo de prova com seção transversal quadrada. Sendo dada Equação 10:

$$f_{co} = \frac{F_{c0,max}}{A} \quad \text{(Equação 10)}$$

Onde:

f_{co} = é a resistência à compressão paralela as fibras, em kgf/cm²;

$F_{c0,max}$ = é a máxima força de compressão aplicada ao corpo de prova durante o ensaio, em kgf;

A = é a área inicial da seção transversal comprimida, em cm².

A rigidez da madeira na direção paralela às fibras é determinada por seu módulo de elasticidade, obtido do trecho linear do diagrama de tensão x deformação específica, definida pelos pontos ($\sigma_{10\%}$; $\epsilon_{10\%}$) e ($\sigma_{50\%}$; $\epsilon_{50\%}$) correspondentes respectivamente a 10% e 50% da resistência à compressão paralela às fibras, medida no ensaio, sendo dado por:

$$E_{C0} = \frac{\sigma_{50\%} - \sigma_{10\%}}{\epsilon_{50\%} - \epsilon_{10\%}} \quad \text{(Equação 11)}$$

Onde:

$\sigma_{50\%}$ e $\sigma_{10\%}$ = são as tensões de compressão correspondente a 10% e 50% da resistência máxima à compressão;

$\varepsilon_{50\%}$ e $\varepsilon_{10\%}$ = são as deformações específicas e medidas no corpo de prova, que correspondem a $\sigma_{50\%}$ e $\sigma_{10\%}$.

4.5.3. Determinação da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras

O ensaio será realizado em corpos de prova de 5 x 5 x 6,5 cm com maior dimensão na direção das fibras, sendo uma espécie de cadeirinha com 2 x 3 cm. A resistência ao cisalhamento que pode atuar na seção crítica de um corpo de prova prismático, dada por:

$$f_{v0} = \frac{F_{v0,max}}{A_{v0}} \quad \text{(Equação 12)}$$

Onde:

f_{v0} = é a resistência máxima ao cisalhamento paralela às fibras, em kgf/cm²;

$F_{v0,max}$ = é a máxima força cisalhante aplicada ao corpo de prova, em kgf;

A_{v0} = é a área inicial da seção crítica do corpo de prova em um plano paralelo às fibras.

4.5.4. Determinação da Dureza Janka Axial e Transversal

O ensaio de dureza Janka foi realizado em corpos de prova de formato retangular de 5 x 5 x 15 cm. A dureza da madeira proposta por Janka é determinada convencionalmente pela tensão que, atuante em uma das faces de um corpo de prova prismático, produz a penetração de uma semiesfera de aço com área diametral de 1 cm² na amostra, até metade de seu diâmetro. Esta medição foi realizada tanto na direção axial quanto na transversal, considerando as variações existentes da madeira. Assim a dureza Janka pode ser calculada pela Equação 13:

$$f_h = \frac{F_{max}}{a_{seção\ diametral}} \quad \text{(Equação 13)}$$

Onde:

f_h = Dureza da madeira, em kgf/cm²;

F_{max} = Máxima força aplicada ao corpo de prova necessária a penetração da semiesfera, em kgf;

$a_{seção\ diametral}$ = Área da seção diametral da esfera igual a 1cm².

4.6. Verificação de deformações/tensões da madeira utilizando o extensômetro

Ainda no campo, na Reserva Natural Vale (ES), foram realizadas as medições extensiométricas em três árvores de cada espécie estudada, resultando em um total de 12 medições. Em cada árvore as seguintes medidas foram tomadas: diâmetro a altura do peito (DAP) e a deformação residual longitudinal (DRL) no tronco da árvore voltada para a posição norte.

A medição da deformação residual longitudinal (DRL) foi realizada nas árvores em pé, sendo obtidas leituras por árvore com o extensômetro na altura de 1,30m, referente ao diâmetro à altura do peito (DAP). Para instalar o extensômetro é necessário remover a casca formando um retângulo (janela) de 12 centímetros x 20 centímetros no tronco da árvore (Figura 12). Dentro da janela são fixados dois pinos de metal a uma distância de 45 milímetros um do outro, no sentido longitudinal do fuste acompanhando a grã. Com a ajuda de um arco-de-pua (furadeira manual) é realizado um furo entre os pinos, assim, as tensões de crescimento são liberadas, permitindo a medição da deformação residual longitudinal (LIMA, 2004; FLOREZ, 2012).



Figura 12. Instalação e medição das tensões/deformações de crescimento pelo extensômetro. (a) Abertura da janela; (b) Fixação dos pinos; (c) Instalação e calibração do extensômetro; (d) Perfuração no tronco com o arco de pua.

4.7. Verificação da amplitude resistográfica da madeira utilizando o resistógrafo

Na altura do DAP, obedecendo às normas estabelecidas pelo manual de utilização do resistógrafo, ou seja, havendo cuidado para a execução da análise obedecer à posição de 90 graus do carregamento do equipamento e inserção da broca de 3mm (Figura 13) foi realizada a medição na orientação Norte-sul e Leste-Oeste nos 12 indivíduos das quatro espécies. A partir da entrada da broca, o Resistógrafo mede a resistência em porcentagem da broca na madeira, em que 0% corresponde a resistência sem interferência da madeira e 100% quando a broca não consegue ser inserida na madeira.



Figura 13. (a) Medição da amplitude resistográfica na orientação Norte-sul. (b) Resistógrafo utilizado no teste.

4.8. Ultrassom

Para os testes de módulo de elasticidade dinâmico através do ultrassom foram utilizados os mesmos corpos de prova de dimensões 5 x 5 x 115 cm, antes de serem usados na máquina universal mecânica, como descrito no módulo de elasticidade estático, ensaio de flexão estática. O equipamento de ultrassom utilizado foi o Ultrasonic Tester BP – 7 Series com transdutores de 45 kHz de faces planas.

Para anteceder os ensaios propostos, realizou-se a calibração do aparelho emissor de ultrassom por meio de um cilindro metálico, fornecido juntamente com o equipamento. Realizaram-se leituras do tempo de propagação da onda no centro da peça a ser ensaiada e, a partir da razão entre a média das leituras e o comprimento do trecho percorrido pela onda (comprimento real da amostra) calculou-se a velocidade de propagação. A constante elástica dinâmica foi determinada por meio do produto entre a velocidade de propagação da onda com a massa específica, Equação 14:

$$C_{LL} = Me * V^2 \quad \text{(Equação 14)}$$

Onde:

C_{LL} = Constante elástica dinâmica (MPa); = E_d = E_{md} ;

V^2 = Velocidade de propagação da onda (m/s);

Me = Massa específica da madeira (kg/m^3).

A velocidade de propagação da onda ultrassonora foi determinada somente na direção longitudinal, uma vez que diversos pesquisadores, tais como Bartholomeu (2001), Puccini (2002) e Costa (2004) descreveram que esta direção apresenta comportamento bem definido e melhor ajuste.

Assim, além da velocidade de propagação calculou-se também o módulo de elasticidade dinâmico (E_d), a partir da velocidade longitudinal (V_{LL}) e da densidade aparente corrigido a um teor de umidade de 12%.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Análise Anatômica

5.1.1. Análise Macroscópica da Madeira

5.1.1.1. Parajú

O parênquima axial do Parajú foi descrito na figura 13 como visível apenas sob lente, em linhas finas numerosas ocasionalmente interrompidas, possuindo raios também visíveis apenas sob lente nos planos transversal (Figura 14) e longitudinal tangencial, sem contraste no plano longitudinal radial, muito finos, numerosos, não estratificados. Os vasos mostraram-se visíveis apenas sob lente, muito pequenos, numerosos, porosidade difusa, predominantemente múltiplos radiais (2-6 vasos), ocasionalmente solitários, obstruídos por tilos; e camadas de crescimento: pouco distintas, demarcadas por parênquima marginal.



Figura 14. Análise macroscópica da madeira de *Manilkara sp. nova*. **(a)** Característica da madeira de Parajú. **(b)** Corte transversal, zoom 10x. Foto: José Henrique Pace

5.1.1.2. Araribá

A madeira do Araribá observada na figura 15, apresentou parênquima axial: visível apenas sob lente, paratraqueal vasicêntrico, confluyente em faixas tangenciais; raios visíveis sob lente no plano transversal e pouco visíveis sem auxílio de lente no plano longitudinal tangencial, pouco contrastados no plano longitudinal radial, finos, numerosos, estratificados. Seus vasos visíveis apenas sob lente, muito pequenos a pequenos, numerosos a muito numerosos, porosidade difusa, predominantemente solitários e múltiplos tangenciais (2-3 vasos); e camadas de crescimento pouco distintas, demarcadas por zonas fibrosas e finas linhas de parênquima marginal.



Figura 15. Análise macroscópica da madeira de *Centrolobium tomentosum*. **(a)** Característica da madeira de Araribá. **(b)** Corte transversal, zoom 10x. Foto: José Henrique Pace

5.1.1.3. Jacarandá

O Jacarandá Caviúna (Figura 16) apresentou parênquima axial visível apenas sob lente, paratraqueal aliforme e vasicêntrico, em faixas marginais. Raios visíveis apenas sob lente nos planos transversal e longitudinal tangencial, pouco contrastados no plano longitudinal radial, muito finos, poucos a muito numerosos, estratificados. Vasos também visíveis sem auxílio de lente, pequenos, numerosos, porosidade difusa, solitários e múltiplos radiais e oblíquos (2-3 vasos). Suas camadas de crescimento distintas, demarcadas por linhas de parênquima marginal e zonas fibrosas.



Figura 16. Análise macroscópica da madeira de *Dalbergia nigra*. **(a)** Característica da madeira de Jacarandá. **(b)** Corte transversal, zoom 10x. Foto: José Henrique Pace

5.1.1.4. Angico preto

O parênquima Axial do Angico Preto (Figura 17) se mostrou visível apenas sob lente, paratraqueal escasso e vasicêntrico. Raios visíveis apenas sob lente nos planos transversal e longitudinal tangencial, sem contraste no plano longitudinal radial, finos, numerosos, não estratificados. Os vasos apresentaram-se pouco visíveis sem auxílio de lente, muito pequenos a pequenos, numerosos a muito numerosos, porosidade difusa, solitários e múltiplos radiais (2-3 vasos); e camadas de crescimento: distintas, demarcadas por diferença de tamanho dos vasos e, eventualmente, por finas linhas de parênquima marginal.



Figura 17. Análise macroscópica da madeira de *Senegalia polyphylla*. **(a)** Característica da madeira de Angico preto. **(b)** Corte transversal, zoom 10x. Foto: José Henrique Pace

5.2. Dados dendrométricos

Ainda em campo, foi tirado os dados dendrométricos dessas árvores com altura total (Ht) e diâmetro a altura do peito (DAP) (tabela 7).

Tabela 7. Dados de Diâmetro a altura do peito (DAP) e altura (Ht) de cada árvore de cada espécie.

Nome Popular	Nome Científico	DAP (cm)	Ht (m)
Parajú	<i>Manilkara sp.</i>	24,04	12,0
Parajú	<i>Manilkara sp.</i>	21,97	9,0
Parajú	<i>Manilkara sp.</i>	23,57	8,0
Araribá	<i>Centrolobium tomentosum</i>	23,12	9,0
Araribá	<i>Centrolobium tomentosum</i>	20,70	11,0
Araribá	<i>Centrolobium tomentosum</i>	25,80	9,0
Jacarandá	<i>Dalbergia nigra</i>	38,18	16,0
Jacarandá	<i>Dalbergia nigra</i>	34,71	14,0
Jacarandá	<i>Dalbergia nigra</i>	33,76	18,0
Angico Preto	<i>Senegalia polyphylla</i>	23,31	13,0
Angico Preto	<i>Senegalia polyphylla</i>	20,22	11,0
Angico Preto	<i>Senegalia polyphylla</i>	22,29	12,0

5.3. Análise das Propriedades Físicas

Para as análises das propriedades físicas foi realizado o teste de normalidade de todos os dados a fim de verificar se estes se distribuíram de forma normal. Assim, através de métodos paramétricos na análise dos dados, verificou-se positivamente a distribuição normal de todas as variáveis estudadas.

Os resultados apresentados na Tabela 8 referem-se aos valores médios de cada propriedade física obtida no estudo das espécies.

Tabela 8. Valores médios de Densidade básica (ρ_{bas}), Densidade aparente ($\rho_{aparente}$), Coeficiente de Anisotropia (C_a), Retração Volumétrica (V_r): e Inchamento Volumétrico (V_i) de cada espécie por árvore e seus respectivos valores médios.

Espécies		Propriedades Físicas				
Nome Popular	Nome Científico	ρ_{bas}	$\rho_{aparente}$	C_a	V_r	V_i
Parajú	<i>Manilkara sp.</i>	0,829	1,003	1,7	13,4	15,5
Araribá	<i>Centrolobium tomentosum</i>	0,609	0,717	1,5	7,8	8,5
Jacarandá	<i>Dalbergia nigra</i>	0,634	0,782	1,3	11,4	12,9
Angico preto	<i>Senegalia polyphylla</i>	0,803	1,027	1,8	15,1	17,8
Média	-	0,719	0,882	1,601	11,93	13,668
Erro padrão	-	0,026	0,035	0,066	0,73	0,929
Desvio Padrão	-	0,104	0,141	0,264	2,918	3,718
Variância	-	0,011	0,02	0,069	8,517	13,828

De acordo com o p-value ($5,29 \cdot 10^{-5}$) obtido pela análise de variância (Tabela 9), este menor que 0,05 de nível de significância, podemos verificar que houve diferença estatística significativa de densidade entre as espécies, sendo ainda confirmado pela Variância e Desvio padrão verificado na tabela 8.

Tabela 9. Análise de Variância das densidades

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	3	0,1161	0,0387	36,2884	5,2539E-05
Resíduos	8	0,00855	0,0010		

Na tabela 10, verificamos mais precisamente dois grupos de densidade: Parajú e Angico preto não diferiram entre si; e Jacarandá e Araribá também não diferem entre si.

Tabela 10. Resultados das análises de Tukey para a densidade básica das espécies.

Média das Densidades			
Espécies	ρ_{bas} Médias	$\rho_{aparente}$ Médias	Grupos
Paraju	0,829	1,026	a
Angico Preto	0,803	1,003	a
Jacarandá	0,634	0,781	b
Araribá	0,608	0,716	b

Conforme classificação proposta por Melo et al. (1991), citados por Souza et al. (2002), pode-se afirmar que duas espécies (Araribá e Jacarandá) possuem densidade considerada média e as outras duas (Parajú e Angico preto) possuem densidade considerada pesada.

De maneira geral, observou-se que os valores de densidade encontrados foram inferiores aos observados na literatura mencionada na revisão. Isto pode se dar a idade de corte dessas espécies (30 anos), enquanto que a literatura apresenta, na maioria das vezes, referências de madeira comercial, obtida em árvores de manejo florestal, com idade superior, sendo espécies com idades bem mais avançadas.

Na tabela 11 podemos observar os valores médios de anisotropia para cada espécie.

Tabela 11. Valores médios de coeficiente de anisotropia das quatro espécies estudadas.

Espécie	C_a	Estabilidade Dimensional	Grupos
Angico Preto	1,8	Normal	a
Paraju	1,7	Normal	ab
Araribá	1,5	Excelente	bc
Jacarandá	1,3	Excelente	c

Em função dos coeficientes de anisotropia pode-se caracterizar a madeira de acordo com a classificação proposta por Durlo e Marchiori (1992) e Chies (2005). Assim, as espécies Parajú e Angico preto foram consideradas madeiras de estabilidade dimensional normal, já as madeiras de Araribá e Jacarandá foram consideradas de excelente estabilidade dimensional.

Devido a característica anisotrópica, as mudanças dimensionais observadas na madeira são diferentes ao longo das três direções estruturais. Em geral, a contração na direção tangencial é, aproximadamente, duas vezes maior do que na direção radial; a razão entre a contração tangencial e radial (relação T/R ou fator de anisotropia) tornou-se um índice muito importante nos estudos de contração de madeira; quanto maior essa relação (acima de 2,0), maior será a tendência ao fendilhamento e empenamento da madeira. Para usos como móveis e esquadrias, que necessitam de alta estabilidade dimensional da madeira, a mais recomendada é aquela que apresentar a menor taxa T/R, ou valores abaixo de 1,5.

Assim, as madeiras de Araribá e Jacarandá se destacaram por apresentarem o menor índice e, conseqüentemente, demonstraram madeira de maior estabilidade dimensional, em função da menor variabilidade entre as contrações tangencial e radial.

5.4. Testes de Usinagem e Trabalhabilidade

5.4.1. Aplainamento

A tabela 12 apresenta valores qualitativos médios de aplainamento a favor e contra a grã das quatro espécies avaliadas.

Aplainamento			
Nome Popular	Nome Científico	Favor	Contra
Parajú	<i>Manilkara sp. nova</i>	boa	regular
Araribá	<i>Centrolobium tomentosum Guillem. ex Benth.</i>	excelente	excelente
Jacarandá	<i>Dalbergia nigra (Vell.) Allemão ex Benth.</i>	excelente	regular
Angico preto	<i>Senegalia polyphylla</i>	boa	boa

No aplainamento as espécies apresentaram um excelente a bom desempenho a favor da grã, já em relação ao aplainamento contra a grã as únicas que apresentaram essa qualidade alta foram Araribá (excelente) e Angico Preto (boa), o que faz com que possivelmente essa qualidade superficial não precise sofrer um acabamento superficial com o lixamento, ou ainda fique isenta de qualquer defeito após lixamento da superfície.

Em geral, todas as quatro espécies se comportaram bem no teste de aplainamento, tendo uma média geral de 20 a 40% de defeito, o que significa que as madeiras são consideradas **boas** para o aplainamento, isto evidencia que as espécies têm uma melhor qualidade de acabamento superficial e ainda, menor uso de outros métodos de acabamento, diminuindo até mesmo o custo do produto final.

5.4.2. Lixamento

A tabela 13 apresenta valores qualitativos médios quanto ao lixamento das quatro espécies avaliadas.

Tabela 12. Qualidade do teste de lixamento.

Lixamento		
Nome Popular	Nome Científico	
Parajú	<i>Manilkara sp. nova</i>	boa
Araribá	<i>Centrolobium tomentosum Guillem. ex Benth.</i>	excelente
Jacarandá	<i>Dalbergia nigra (Vell.) Allemão ex Benth.</i>	boa
Angico preto	<i>Senegalia polyphylla</i>	boa

Em geral, todas as quatro espécies se comportaram bem no teste de lixamento, tendo uma média geral de 20 a 40% de superfície com riscamento e grã felpuda em apenas uma parte pequena das peças, o que significa que as madeiras são consideradas boas para o lixamento.

Cabe ressaltar que a qualidade da superfície lixada poderia ter resultados excelentes já que o aplainamento já obteve resultados bem satisfatórios, isto aumentando o tempo de lixamento. Como se trata de um teste manual, alguma variação na pressão aplicada à na lixa pelo operador pode ter influenciado os resultados.

5.4.3. Teste de furação

No teste de furação de cavilha podemos observar na tabela 14 os resultados dos furos com brocas de 6, 8 e 12 mm.

Tabela 13. Avaliação dos testes de furação de cavilha.

Cavilha				
Nome Popular	Nome Científico	6 mm	8 mm	10 mm
Parajú	<i>Manilkara sp. nova</i>	boa	regular	boa
Araribá	<i>Centrolobium tomentosum Guillem. ex Benth.</i>	excelente	boa	boa
Jacarandá	<i>Dalbergia nigra (Vell.) Allemão ex Benth.</i>	boa	regular	boa
Angico preto	<i>Senegalia polyphylla</i>	ruim	ruim	ruim

Para o furo com diâmetro 6 mm, a média das três árvores configura um conceito “boa”, apresentando o defeito de grã levantada com média intensidade em 20 a 40% dos corpos de prova. As amostras reagiram de forma inferior quanto ao furo de 8 mm, com exceção do Araribá, que apresentou um desempenho superior as outras três neste teste, obtendo um conceito “boa”, por apresentar defeitos leves de grã levantada na maioria das amostras. Para o furo de 12 mm, as espécies obtiveram melhores resultados, apresentando algumas amostras isentas de defeitos e em sua grande maioria, defeitos leves de grã levantada, já a espécie Angico apresentou algumas amostras com danos em 60 a 80% das amostras e por isso obteve um conceito ruim para o defeito de grã levantada.

Assim, a espécie que melhor se comportou no teste de cavilha em todos os tamanhos foi o Araribá com excelente, boa e boa nas respectivas brocas de 6, 8 e 12 mm. Em contrapartida, o Angico foi a espécie que obteve os piores resultados, apresentando média ruim em todas as brocas.

No teste de furação com broca chata podemos observar na tabela 15 o furo passante e o não passante.

Tabela 14. Avaliação dos testes de furação com broca chata.

Broca			
Nome Popular	Nome Científico	Passante	Não passante
Parajú	<i>Manilkara sp. nova</i>	boa	boa
Araribá	<i>Centrolobium tomentosum Guillem. ex Benth.</i>	excelente	excelente
Jacarandá	<i>Dalbergia nigra (Vell.) Allemão ex Benth.</i>	excelente	boa
Angico preto	<i>Senegalia polyphylla</i>	boa	regular

Foi possível perceber que para a furação passante da broca chata de 26 mm, todas as médias das amostras apresentaram defeitos leves, obtendo a classificação excelente para Araribá e Jacarandá a boa para Parajú e Angico preto. Com relação ao furo não passante, todas as amostras apresentaram defeitos leves obtendo classificação boa para Parajú e Jacarandá, e excelente para Araribá, exceto a de Angico preto, que obteve nota regular para a presença dos defeitos de grã felpuda e grã arrancada. Assim, uma espécie que teve comportamento excelente resultado tanto no furo passante como não passante foi o Araribá.

De acordo com Lucas Filho (2004) para a melhoria dos resultados de furação, a velocidade de corte e a densidade da madeira são as principais variáveis a serem observadas para a melhoria do processo.

5.4.4. Teste de rasgo lateral

No teste de rasgo lateral (Tabela 16) temos a análise qualitativa de acordo com o levantamento de fibras apresentados nas superfícies do rasgo.

Tabela 15. Avaliação dos testes de rasgo.

Rasgo		
Nome Popular	Nome Científico	
Parajú	<i>Manilkara sp. nova</i>	excelente
Araribá	<i>Centrolobium tomentosum Guillem. ex Benth.</i>	excelente
Jacarandá	<i>Dalbergia nigra (Vell.) Allemão ex Benth.</i>	excelente
Angico preto	<i>Senegalia polyphylla</i>	regular

Neste teste todas as espécies apresentaram em média ausência de levantamento de fibras em qualquer das quatro bordas e no fundo, exceto o Angico preto que obteve em média 40 a 60% de defeitos, apresentando uma nota regular (3).

A qualidade final de um produto relaciona-se com as operações de usinagem e com a estrutura física e anatômica da madeira. Silva et al. (2007), observaram em madeiras de *Eucalyptus* que a ferramenta cortante por meio de seu gume ataca a seção do diâmetro da fibra (corte 90°-90°) normalmente gerando superfícies mais ásperas com qualidade inferior. Este efeito pode ser explicado pela grande dimensão dos gumes de corte das ferramentas em relação às dimensões das fibras. As fibras apresentam dimensões, geralmente, menores que os raios dos gumes das ferramentas utilizadas na usinagem, neste caso as fibras da madeira são raspadas ou arrancadas e não cortadas.

5.4.5. Teste de inserção de pregos

As avaliações de inserção de pregos (Tabela 17) levaram em conta o desempenho da madeira em relação à presença ou ausência de rachaduras ou trincas no local de penetração do prego.

Tabela 16. Avaliação dos testes de inserção de pregos

Inserção de pregos		
Nome Popular	Nome Científico	Desempenho
Parajú	<i>Manilkara sp. nova</i>	100% não aceita
Araribá	<i>Centrolobium tomentosum Guillem. ex Benth.</i>	26% aceita; 74% não aceita
Jacarandá	<i>Dalbergia nigra (Vell.) Allemão ex Benth.</i>	26% aceita; 74% não aceita
Angico preto	<i>Senegalia polyphylla</i>	100% não aceita

A madeira de Parajú e Angico preto apresentaram presença de rachaduras ou trincas no local de penetração do prego em 100% (todas) das amostras, podendo estar relacionado ao fato de apresentarem altos valores de densidade, já as espécies Araribá e Jacarandá apresentaram uma

média de 26% de ausência de rachaduras ou trincas e 74% de presença, isso provavelmente por terem densidades médias. Com isso, verificamos que todas as espécies analisadas têm baixíssima aceitação de inserção por pregos, provavelmente por apresentar uma estrutura rígida e/ou densa.

5.5. Análise de Propriedades mecânicas pela máquina universal de ensaios

5.5.1. Determinação do módulo de elasticidade e de resistência na flexão estática

Os resultados apresentados na Tabela 18 referem-se aos valores médios de cada módulo de elasticidade na flexão (E_m) e módulo de resistência na flexão (f_m) obtida no estudo das espécies.

Tabela 17. Módulos de Resistência e de Elasticidade na Flexão de cada espécie por árvore.

Espécies		Propriedades Mecânicas de Flexão	
Nome Popular	Nome Científico	f_m	E_m
Parajú	<i>Manilkara sp.</i>	148858,70	1263,78
Parajú	<i>Manilkara sp.</i>	153310,42	1252,11
Parajú	<i>Manilkara sp.</i>	132525,72	565,76
Parajú	Media Final	144898,278	1027,217
Araribá	<i>Centrolobium tomentosum.</i>	114208,29	708,12
Araribá	<i>Centrolobium tomentosum</i>	125378,28	898,80
Araribá	<i>Centrolobium tomentosum</i>	130170,29	902,79
Araribá	Media Final	123252,287	836,570
Jacarandá	<i>Dalbergia nigra</i>	131575,63	858,98
Jacarandá	<i>Dalbergia nigra</i>	125614,60	863,48
Jacarandá	<i>Dalbergia nigra</i>	122541,24	868,90
Jacarandá	Media Final	126577,155	863,787
Angico Preto	<i>Senegalia polyphylla</i>	143833,64	808,04
Angico Preto	<i>Senegalia polyphylla</i>	148282,03	1064,76
Angico Preto	<i>Senegalia polyphylla</i>	160808,11	920,81
Angico preto	Media Final	150974,591	931,203

A análise de variância ANOVA foi realizada com a verificação do valor p ao nível de significância de 5%. De acordo com o teste estatístico temos que o valor p de 0,0093 é menor que o nível de significância (0,05), concluindo que ocorreu diferença significativa entre as espécies em relação ao E_m de flexão.

Assim, realizando-se o teste de médias de Tukey para verificar onde ocorreram as diferenças estatísticas significativas entre as espécies e os módulos de elasticidade na flexão estática (Tabela 19).

Tabela 18. Resultados das análises de Tukey para os resultados de flexão estática.

Teste de Tukey do módulo de resistência na flexão estática		
Espécies	Médias (Mpa)	Grupos
Angico Preto	150974,6	a
Parajú	144898,3	ab
Jacarandá	126577,2	b
Araribá	123252,3	b

De acordo com o teste das médias, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si ao nível de significância de 5%. Assim, verificou-se dois grupos de módulos de elasticidade: Angico preto e Parajú; Jacarandá e Araribá, porém com a ressalva que Parajú e Jacarandá possuem semelhança estatística.

Esse resultado pode se relacionar a densidade, já que o Angico preto e Parajú se assemelham ao possuem densidades altas, e Jacarandá e Araribá também se assemelham, mas com densidades médias. Além da estabilidade dimensional que está diretamente ligada a elasticidade e plasticidade da madeira.

Foi realizado o estudo da interação das espécies entre as médias das densidades e o E_m na Flexão, verifica-se no gráfico 1 essa interação, junto com os seus respectivos coeficientes de correlação.

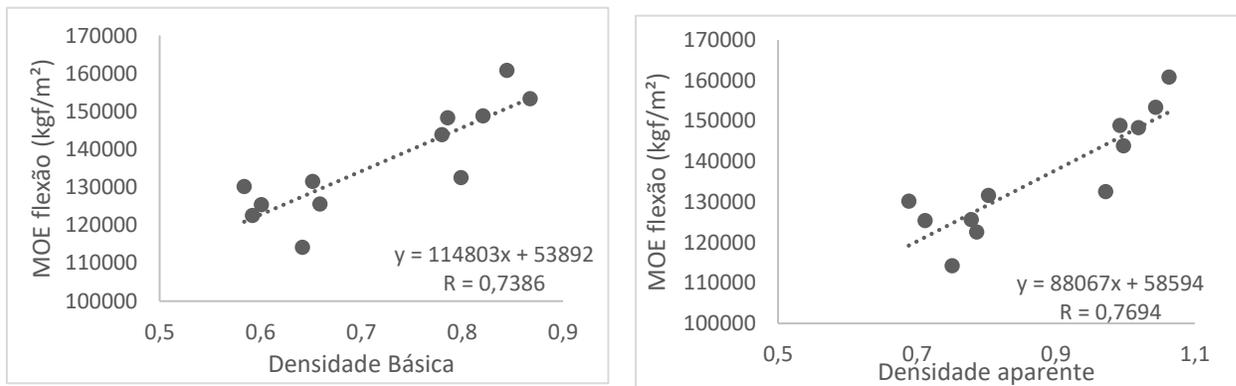


Gráfico 1. (a) Interação entre E_m de flexão (kgf/cm^2) com Densidade básica. (b) Interação entre E_m de flexão (kgf/cm^2) com a Densidade aparente.

De acordo com o gráfico e o valor de R, pode-se verificar uma interação moderada/forte entre o módulo de elasticidade na flexão estática e as densidades básica e aparente.

Assim, foi determinada e estudada a correlação entre as variáveis densidades básica e aparente (g/cm^3) e os Módulos de Elasticidade e Resistencia na flexão estática (kgf/cm^2) a fim de estimar a interação entre as variáveis (Tabela 20).

Tabela 19. Matriz de Correlação entre as Densidades básica e aparente com os E_m e f_m .

Matriz de Correlação				
	ρ_{bas}	ρ_{aparente}	E_m Flexão (kgf/m^2)	f_m Flexão (kgf/m^2)
E_m Flexão (kgf/m^2)	0,8594	0,8772	1	
f_m Flexão (kgf/m^2)	0,3997	0,3750	0,5994	1

Pode-se verificar que de acordo com o R a correlação é alta e positiva, com isso houve correlação tanto entre as variáveis densidade básica e o E_m na flexão estática, quanto para densidade aparente e E_m de flexão estática. Já o Módulo de Resistencia na flexão teve correlação fraca (0,3 a 0,4) entre os valores de densidade básica e aparente e o f_m Flexão, este dado não cumpriu com as expectativas, já que a correlação até mesmo com a densidade é fraca, este pode ser explicado por algumas espécies terem rompido mais facilmente não densidade e seus fatores plásticos e elásticos e sim por ocorrência de nós em alguns pontos da madeira ou até furos de

brocas. O R é a correlação, que varia de 0 até 1 para correlação positiva e quanto mais próximo a 1 ou -1 mais forte será a correlação entre as variáveis analisadas.

5.5.2. Determinação da resistência a compressão paralela às fibras

Os resultados apresentados na Tabela 21 referem-se aos valores médios de cada módulo de resistência na compressão (f_{wc0}) obtida no estudo das espécies.

Tabela 20. Dados de módulo de resistência (fm) das quatro espécies tanto na unidade MPa quanto em Kgf/cm².

Espécies		fm	
Nome Popular	Nome Científico	MPa	kgf/cm ²
Parajú	<i>Manilkara sp.</i>	57,10124	582,2727682
Parajú	<i>Manilkara sp.</i>	61,51087	627,2386023
Parajú	<i>Manilkara sp.</i>	57,35209	584,8307638
Parajú	Media Final	58,65473	598,1140448
Araribá	<i>Centrolobium tomentosum.</i>	18,69017	190,5874411
Araribá	<i>Centrolobium tomentosum</i>	11,26859	114,9080354
Araribá	<i>Centrolobium tomentosum</i>	12,02308	122,601763
Araribá	Media Final	13,99395	142,6990798
Jacarandá	<i>Dalbergia nigra</i>	52,81595	538,5747873
Jacarandá	<i>Dalbergia nigra</i>	40,14968	409,4143404
Jacarandá	<i>Dalbergia nigra</i>	49,11	500,7844834
Jacarandá	Media Final	47,35854	482,924537
Angico Preto	<i>Senegalia polyphylla</i>	59,98203	611,6487473
Angico Preto	<i>Senegalia polyphylla</i>	57,70101	588,3887288
Angico Preto	<i>Senegalia polyphylla</i>	66,26018	675,6682648
Angico preto	Media Final	61,3144	625,235247

Para a análise do módulo de resistência a compressão das espécies foi realizada uma análise de variância para verificar se existiu diferença estatística entre as espécies.

De acordo com o p valor determinado na ANOVA de 0,0456, isto é, menor que o nível de significância (0,05) conclui-se que ocorreu diferença do f_{c0} de compressão entre as espécies ao nível de 5%. Assim, com o teste de comparação de médias (Tabela 22) foi analisado quais espécies se diferenciam estatisticamente em relação ao f_{c0} de compressão paralela.

Tabela 21. Resultado do teste de Tukey para os resultados de compressão paralela

Teste de Tukey da tensão resistente na compressão paralela as fibras		
Espécies	Médias (Mpa)	Grupos
Angico Preto	61,3144	a
Parajú	58,65473	ab
Jacarandá	47,35854	b
Araribá	13,93107	c

Com isso, três grupos de módulos de resistência na compressão foram obtidos, já que as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si ao nível de significância de 5%. O primeiro foi Angico preto e Parajú com maiores valores de resistência a compressão; outro foi também o Parajú, mas com o Jacarandá com resistência mediana; e por último apenas o Araribá se diferiu de todas as outras espécies com valor médio de resistência a compressão inferior aos demais.

A resistência é a aptidão de o material suportar tensões, determinada convencionalmente pela máxima tensão que pode ser aplicada a corpos-de-prova isentos de defeitos da madeira, até o aparecimento de fenômenos particulares de comportamento além dos quais há restrição de emprego do material em elementos estruturais. De modo geral, estes fenômenos são os de ruptura ou de deformação específica excessiva. Com isso, observou-se que Angico preto seguido do Parajú suportaram maiores deformações até sua ruptura, em detrimento do Araribá onde se encontra um valor bastante baixo em relação as outras espécies, isso pode ter ocorrido por algum erro de medição ou até mesmo erros de corte na produção do corpo de prova, se este não for perfeitamente com 90° de angulação das arestas, o centro onde se aplica a carga não fica espalhado uniformemente na face da amostra, ocasionando erros como este de medição.

Na tabela 23 foi inserida a matriz de correlação entre as densidades básicas e aparentes e módulo de resistência a compressão.

Tabela 22. Matriz de correlação entre as densidades básicas e aparentes e módulo de resistência à compressão.

Matriz de Correlação			
	Densidade básica	Densidade aparente	MOR Compressão (kgf/cm ²)
Densidade básica	1		
Densidade aparente	0,97063902	1	
MOR Compressão (kgf/cm ²)	0,799087764	0,878323337	1

Pode-se verificar que o R foi moderado a alto e positivo, com isso houve correlação tanto entre as variáveis densidade básica e o f_{c0} na compressão, quanto para densidade aparente e f_{c0} de compressão. A correlação varia de 0 até 1 para correlação positiva e quanto mais próximo a 1 mais forte será a correlação entre as variáveis analisadas.

5.5.3. Determinação da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras

Os resultados apresentados na Tabela 24 referem-se aos valores médios de cada módulo de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras (f_{v0}) obtida no estudo das espécies.

Tabela 23. Dados de cisalhamento paralela às fibras

Espécies		
Nome Popular	Nome Científico	f_{v0} Cisalhamento
Parajú	<i>Manilkara sp.</i>	111,9113987
Parajú	<i>Manilkara sp.</i>	106,2004589
Parajú	<i>Manilkara sp.</i>	80,39796946
Parajú	Media Final	99,50327569
Araribá	<i>Centrolobium tomentosum.</i>	123,3303304
Araribá	<i>Centrolobium tomentosum</i>	114,3255399
Araribá	<i>Centrolobium tomentosum</i>	146,8197035
Araribá	Media Final	128,1585246
Jacarandá	<i>Dalbergia nigra</i>	171,6807016
Jacarandá	<i>Dalbergia nigra</i>	149,9459068
Jacarandá	<i>Dalbergia nigra</i>	135,8356676
Jacarandá	Media Final	152,4874253
Angico Preto	<i>Senegalia polyphylla</i>	168,355615
Angico Preto	<i>Senegalia polyphylla</i>	159,5454545
Angico Preto	<i>Senegalia polyphylla</i>	126,0198569
Angico preto	Media Final	151,3069755

Para a análise do módulo de resistência ao cisalhamento em função das espécies foi calculada a análise de variância para verificar se ocorreu diferença estatística entre as espécies.

Como o p valor determinado na ANOVA de 0,0257 foi menor que o nível de significância (0,05), conclui-se que ocorreu diferença de f_{v0} no cisalhamento entre as espécies ao nível de 5%. Assim, com o teste de comparação de médias (Tabela 25) foram analisadas quais espécies se diferenciaram no f_{v0} no ensaio de cisalhamento.

Tabela 24. Resultado do teste de Tukey para resistência ao cisalhamento

Análise de Tukey do f_{v0} no cisalhamento		
Espécies	Médias	Grupos
Jacarandá	152,48743	a
Angico Preto	151,30698	a
Araribá	128,15852	ab
Parajú	99,50328	b

Na tabela 26, foram inseridas as correlações entre as espécies das variáveis densidade básica e aparente e módulo de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras.

Tabela 25. Correlação entre o módulo de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras e as espécies, densidade básica, aparente.

Correlação			
	Espécies	ρ_{bas}	$\rho_{aparente}$
MOR Cisalhamento	0,7614	-0,3147	-0,1918

Pode-se verificar que apenas houve correlação moderada entre as espécies e o f_{v0} de cisalhamento, com o R de 0,7614. Já em relação as densidades, tanto básica como aparente, pode-se concluir que houve uma correlação muito fraca.

Verifica-se no Gráfico 2 que o R entre as espécies e o módulo de resistência de cisalhamento foi de 0,4369, considerado moderado a baixo como foi evidenciado na correlação da tabela 22.

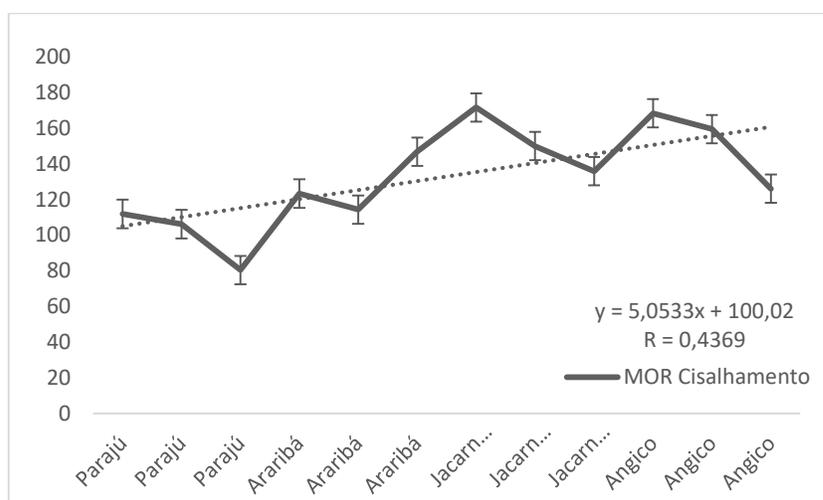


Gráfico 2. Gráfico do módulo de resistência de compressão paralela as fibras de cada espécie.

O comportamento demonstrado por espécies diferentes relaciona-se a diferenças anatômicas capazes de influenciar em algumas propriedades mecânicas da madeira.

5.5.4. Determinação da Dureza Janka

Os resultados apresentados na Tabela 27 referem-se aos valores médios de dureza Janka (f_h) obtida no estudo das espécies, tanto na direção axial quanto na transversal.

Tabela 26. Dados de dureza para cada espécie (axial e transversal)

Espécies		Dureza Janka (fh)	
Nome Popular	Nome Científico	Transversal	Axial
Parajú	<i>Manilkara sp.</i>	1205	1155
Parajú	<i>Manilkara sp.</i>	915	1065
Parajú	<i>Manilkara sp.</i>	935	1120
Parajú	Media Final	1018	1113
Araribá	<i>Centrolobium tomentosum.</i>	670	725
Araribá	<i>Centrolobium tomentosum</i>	510	530
Araribá	<i>Centrolobium tomentosum</i>	385	385
Araribá	Media Final	522	547
Jacarandá	<i>Dalbergia nigra</i>	780	930
Jacarandá	<i>Dalbergia nigra</i>	560	845
Jacarandá	<i>Dalbergia nigra</i>	600	790
Jacarandá	Media Final	647	855
Angico Preto	<i>Senegalia polyphylla</i>	925	895
Angico Preto	<i>Senegalia polyphylla</i>	925	1100
Angico Preto	<i>Senegalia polyphylla</i>	890	1110
Angico preto	Media Final	913	1035

Na tabela 28 foram inseridas as correlações encontradas entre as densidades básicas e aparentes e a dureza Janka, tanto de axial como transversal.

Tabela 27. Matriz de Correlação entre as Densidades Básica, Aparente e Dureza Janka.

Matriz de Correlação				
	ρ_{bas}	$\rho_{aparente}$	Dureza transversal	Dureza axial
Dureza "lateral"	0,869	0,869	1	
Dureza "topo"	0,860	0,880	0,899	1

De acordo com a correlação apresentada, verificou-se que ocorreu uma alta associação da Dureza perpendicular e paralela com as densidades tanto básica como aparente. Podendo ser confirmada com os gráficos de interações abaixo (Gráfico 3).

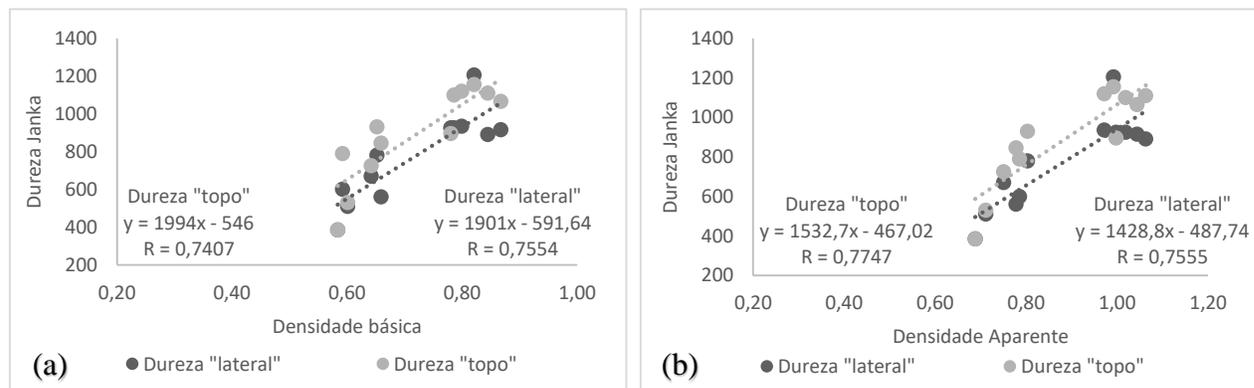


Gráfico 3. (a) Interação entre Dureza Perpendicular e paralela com Densidade básica. (b) Interação entre Dureza Perpendicular e paralela com a Densidade aparente.

Nota-se que à proporção que as densidades se elevam, a dureza Janka também é elevada. Esses dados apoiam os estudos realizados por Kolmann & Côté (1968) em que relataram uma alta correlação entre propriedades mecânicas, resistência a abrasão e poder calorífico de um lado e a densidade do outro. Podendo ainda ser reforçado pelos resultados obtidos por Janka & Lorenz apud Kolmann & Côté (1968) onde observaram em madeiras norte-americanas e europeias que a dureza é diretamente proporcional a densidade da madeira.

A dureza é um fator que indicará se a espécie de madeira está mais suscetível ou não à aparição de marcas e arranhões e se é resistente para tráfego intenso, quando por exemplo for utilizada para pisos.

5.6. Resistografia

Os valores médios de amplitude de resistência das quatro espécies, registrados pelo Resistógrafo, variaram de 12,9 a 32,3% (Tabela 29). A variação entre a amplitude resistográfica encontrado neste estudo, pode ser explicada por se tratar de diferentes espécies com diferentes densidades.

Tabela 28. Dados da amplitude de resistência de todas as espécies e seus respectivos valores médios.

Espécies		
Nome Popular	Nome Científico	RESISTOGRAFIA (%)
Parajú	<i>Manilkara sp.</i>	26,2
Parajú	<i>Manilkara sp.</i>	26,4
Parajú	<i>Manilkara sp.</i>	26,7
Parajú	Media Final	26,4
Araribá	<i>Centrolobium tomentosum.</i>	14,2
Araribá	<i>Centrolobium tomentosum</i>	12,9
Araribá	<i>Centrolobium tomentosum</i>	15,4
Araribá	Media Final	14,2
Jacarandá	<i>Dalbergia nigra</i>	25,4
Jacarandá	<i>Dalbergia nigra</i>	30,3
Jacarandá	<i>Dalbergia nigra</i>	27,8
Jacarandá	Media Final	27,8
Angico Preto	<i>Senegalia polyphylla</i>	30,7
Angico Preto	<i>Senegalia polyphylla</i>	32,3
Angico Preto	<i>Senegalia polyphylla</i>	27,0
Angico preto	Media Final	30

Na tabela 30 pode-se verificar as correlações entre a Resistografia e as Propriedades físicas analisadas.

Tabela 29. Correlação entre as Densidades Básica, Aparente e Anisotropia com Resistografia.

Correlação			
	ρ_{bas}	$\rho_{parente}$	Anisotropia
Resistografia (%)	0,5661	0,6779	0,0098

De acordo com as correlações encontradas de densidade básica e densidade aparente, 0,57 e 0,68, respectivamente, pode-se concluir que existe uma correlação moderada da amplitude resistográfica (%) entre as variáveis de propriedades físicas.

A análise resistográfica tem como base a medida em porcentagem de resistência da madeira à perfuração, isto é, podendo inferir sobre a densidade da madeira. Pode-se concluir com isso que houve uma correlação moderada com as densidades, podendo este método ser aplicado para análise de densidade. Além disso, aumentando a amostragem poderá aumentar a correlação evidenciando melhor exatidão para este teste.

5.7. Extensometria

Os valores médios de extensometria das quatro espécies, registrados pelo relógio comparador do extensômetro, variaram de 0,015 e 0,09 mm, e média de DRL de 0,039 mm (Tabela 31). A variação entre os DRL's encontrados neste estudo, pode ser explicada por se tratar de diferentes espécies com diferentes estruturas anatômicas.

RESISTOGRAFIA (%)

26,2
26,4
26,7
14,2
12,9
15,4
25,4
30,3
27,8
30,7
32,3
27,0

TESTES DE NORMALIDADE

Resultados da Análise

Testes de Normalidade
Testes
Anderson - Darling
Kolmogorov - Smirnov
Shapiro - Wilk
Ryan - Joiner

Tabela 30. Dados de deformação residual longitudinal (DRL) de todas as espécies.

Espécies		
Nome Popular	Nome Científico	EXTENSÔMETRIA DRL (mm)
Parajú	<i>Manilkara sp.</i>	0,020
Parajú	<i>Manilkara sp.</i>	0,022
Parajú	<i>Manilkara sp.</i>	0,032
Parajú	Media Final	0,025
Araribá	<i>Centrolobium tomentosum.</i>	0,030

Araribá	<i>Centrolobium tomentosum</i>	0,048
Araribá	<i>Centrolobium tomentosum</i>	0,015
Araribá	Media Final	0,031
Jacarandá	<i>Dalbergia nigra</i>	0,090
Jacarandá	<i>Dalbergia nigra</i>	0,046
Jacarandá	<i>Dalbergia nigra</i>	0,044
Jacarandá	Media Final	0,060
Angico Preto	<i>Senegalia polyphylla</i>	0,020
Angico Preto	<i>Senegalia polyphylla</i>	0,032
Angico Preto	<i>Senegalia polyphylla</i>	0,070
Angico preto	Media Final	0,041

Na tabela 32 pode-se analisar as correlações entre a Extensometria com as Propriedades físicas analisadas.

Tabela 31. Correlação entre as propriedades físicas estudadas com a extensometria.

	Correlação			
	ρ_{bas}	$\rho_{aparente}$	Anisotropia	Resistografia (%)
Extensometria DRL (mm)	-0,1664	-0,1137	-0,3040	0,0825

De acordo com as correlações encontradas de densidade básica, densidade aparente, anisotropia e resistografia, pode-se concluir que existe uma correlação fraca da amplitude resistografica e as variáveis anisotropia, sendo negativa, e quase nula em relação as densidades.

Estes valores fracos e quase nulos de correlação podem ser justificados também pela pouca amostragem neste teste, não podendo ter valores consideráveis.

5.8. Determinação do Módulo de Elasticidade Dinâmica na Flexão (Emd) através de Ultrassom e sua comparação com Módulo de Elasticidade Estático na Flexão (Em)

Os resultados apresentados na Tabela 33 referem-se aos valores do módulo de elasticidade dinâmico (E_m) e estático (E_{md}) na flexão obtida no estudo das espécies.

Tabela 32. Dados de Módulo de elasticidade dinâmico e estático na flexão de todas as espécies estudadas.

Espécies		Emd	Em flexão (kgf/m²)
Nome Popular	Nome Científico		
Parajú	<i>Manilkara sp.</i>	336,65	148858,70
Parajú	<i>Manilkara sp.</i>	394,64	153310,42
Parajú	<i>Manilkara sp.</i>	326,22	132525,72
Parajú	Media Final	352,50	144898,28
Araribá	<i>Centrolobium tomentosum.</i>	311,37	114208,29
Araribá	<i>Centrolobium tomentosum</i>	326,58	125378,28
Araribá	<i>Centrolobium tomentosum</i>	325,21	130170,29
Araribá	Media Final	321,05	123252,29
Jacarandá	<i>Dalbergia nigra</i>	323,43	131575,63

Jacarandá	<i>Dalbergia nigra</i>	305,20	125614,60
Jacarandá	<i>Dalbergia nigra</i>	320,72	122541,24
Jacarandá	Media Final	316,45	126577,16
Angico Preto	<i>Senegalia polyphylla</i>	437,60	143833,64
Angico Preto	<i>Senegalia polyphylla</i>	401,71	148282,03
Angico Preto	<i>Senegalia polyphylla</i>	490,93	160808,11
Angico preto	Media Final	443,42	150974,59

Foi medida a velocidade do som foi medida através do Ultrassom e calculado a partir dessa informação e dos valores de densidade aparente, o módulo de elasticidade dinâmica na flexão.

Pode-se analisar as interações através da correlação de Pearson gerada na matriz de correlação entre as variáveis Módulo de Elasticidade estática e Módulo de Elasticidade dinâmica na Flexão na tabela 34.

Tabela 33. Matriz de Correlação entre Em na Flexão e Emd também na flexão.

Matriz de Correlação				
	ρ_{bas}	$\rho_{aparente}$	Em flexão (kgf/m ²)	Emd (kgf/m ²)
Densidade básica	1			
Densidade aparente	0,9706	1		
Em flexão (kgf/m ²)	0,8594	0,8772	1	
Emd (kgf/m ²)	0,6806	0,7555	0,8291	1

Notou-se que os módulos de elasticidade estática e dinâmica tem moderada a alta correlação em relação as densidades básicas e aparentes. Já o Em e o Emd na flexão têm alta correlação positiva, o que pode se afirmar que a metodologia usada para medir o módulo de elasticidade na flexão estática pode ser substituída, neste caso pelo módulo de elasticidade dinâmico (Emd).

Através dos resultados observou-se a possibilidade da substituição da análise destrutiva por uma análise semi destrutiva, isto é, pode-se inferir sobre o módulo de elasticidade na flexão de um lote de madeira, com base em todo o material sem a destruição do mesmo.

6. CONCLUSÕES

De acordo com os ensaios realizados e os resultados obtidos através do tratamento estatístico, conclui-se que:

- Entre as quatro espécies estudadas de mesma idade e mesmo habitat, foram encontradas espécies apresentando valores de densidade básica consideradas médias e altas, se assemelhando ao encontrado na literatura. Além disso, as anisotropias encontradas tiveram estabilidade dimensional normais a excelentes;
- Em média, de acordo com os testes de usinagem foram encontradas melhores notas qualitativas para espécie *Centrolobium tomentosum*, o Araribá. Com isso, conclui-se que esta é uma espécie com ótima trabalhabilidade e facilidade de se obter uma ótima qualidade superficial, assim como o Jacarandá, podendo ser usada para caixotaria e móveis. Já as piores notas foram dadas para espécie *Senegalia polyphylla*, Angico Preto;
- Os módulos de elasticidade na flexão, módulo de resistência na compressão paralela às fibras e na Dureza Janka obtiveram correlações altas para os valores de densidade básica. As espécies apresentam uma tendência uniforme, mostrando que os módulos são diretamente proporcionais à densidade da madeira;
- Os dados comprovam que a dureza da madeira expressa pela sua capacidade em oferecer maior ou menor resistência à penetração de uma semiesfera, está estreitamente relacionada com a densidade. Assim como a resistência a compressão;
- Em contrapartida, os módulos de resistência ao cisalhamento paralelo as fibras obtiveram R significativo apenas em relação as espécies, isso se deve provavelmente pela diferença anatômica de cada espécie, tendo menos ou mais fibras, porosidade, grãos, etc.;
- Na análise não destrutiva de resistografia houve uma correlação moderada com as densidades, podendo este método ser aplicado para análise de densidade. Já na extensometria, houve uma correlação muito baixa, podendo ser justificada pela pequena amostragem dos dados, sendo a amostragem um fator crucial para uma melhor análise.
- No estudo comparativo das análises do módulo de elasticidade estático e dinâmico, este último realizado através do ultrassom, foi obtido correlação alta entre as metodologias, o que comprovou a possibilidade de substituição do MOE estático pelo dinâmico em trabalhos semelhantes a este;
- As espécies *Manilkara sp.* (Parajú) e *Senegalia polyphylla* (Angico preto) obtiveram melhores resistências podendo ser usadas como pisos e também como madeira estruturais, na construção civil.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MATTOS, R. B. Características qualitativas e possibilidade de ganho de fuste em espécies euxilóforas nativas da região central do rio grande do sul. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

MENDONÇA, A. R. Avaliação de uma Metodologia para Otimização do Volume de Toras Comerciais de *Eucalyptus* sp. em Função da Qualidade do Fuste. Dissertação (Mestrado em Produção vegetal). 2006. 91 p. Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2006.

ALVES, R. C. **Qualificação dos ensaios não destrutivos para estimar as características físico-mecânicas da madeira.** 75 p. Dissertação (Mestrado em engenharia de estruturas). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG. 2012.

Árvores do Brasil. Disponível em: < <http://arvores.brasil.nom.br/new/arariba/index.htm>> Acessado em: 29/dez/2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) - NBR 7190. Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 107p, 1997.

BAILLÈRES, H.; DURAND, P. Y. Non -destructive techniques for wood quality assessment of plantation grown teak. **Bois et Forest des Tropiques**, Montpellier, v. 54, n. 263, p. 17-20, 2000.

BARRICHELO, L. E. G. Estudo da variação longitudinal da densidade básica de *Eucalyptus* spp. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4. 1992, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBF, p. 726-731, 1992.

BARTHOLOMEU, A.. **Classificação de peças estruturais de madeira através do ultrassom.** 105 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Na área de concentração de Construções Rurais, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas (SP), 2001.

BELTRAME, R.; PERES, M. L. de; LAZAROTTO, M.; GATTO, D. A.; SCHNEID, E.; HASELEIN, C. R. Tensão de crescimento e sua relação com as rachaduras de topo em toras de *Eucalyptus* spp. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 105, p. 63-74, 2015.

BERTOLINI, I. C.; DEBASTIANI, A. B.; BRUN, E. J. Caracterização silvicultural da canafístula (*Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert). **Scientia Agraria Paranaensis**. v. 14, n. 2, p. 67–76, 2015.

Brasil, Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Código Florestal Brasileiro**. Diário Oficial, Brasília, 25 mai. 2012.

BRASIL. Decreto Federal nº 6.660, de 21 de novembro de 2008. Regulamenta dispositivos da Lei no 11.428, de 22 de dezembro de 2006, que dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica. Brasília, DF, 2008a. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6660.htm>. Acesso em: 26/dez/2017.

BRASIL. Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006. Brasília: Casa Civil. DOU de 26/dez/2006.

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

CARDOSO JUNIOR, A. A.; TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; ROSADO, S. C. da S.; MENDES, L. M. Deformação residual longitudinal em diferentes espaçamentos e idades em clone de híbrido de *Eucalyptus*. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 3, p. 218-224, 2005.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, v. 5. 633 p. 2014.

CASTRO, V. R. **Aplicação de métodos não destrutivos na avaliação das propriedades físicas do lenho de árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf. e *Tectona grandis* (L.f.)**. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 108p. 2011.

CHRISTOFORO, A.L. et al. Numerical evaluation of the longitudinal modulus of elasticity in structural round timber elements of *Eucalyptus* genus. **Revista Engenharia Agrícola**, v.31, p.1007-1014, 2011.

COUTO, A. M. **Modelagem da densidade básica e caracterização química em clones de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis***. 2011. 71 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

CRESPO, T. R.; MINNICK, G.; VARGAS, J. Evaluación de algunas leguminosas en el trópico de Cochabamba, Bolivia. In: EVANS, D. O.; SZOTT, L. T. (Ed.). **Nitrogen fixing trees for acid soils: proceedings of a workshop**. Morrilton: NFTA: Winroch International, 1995. p. 103- 112.

DIAS, D. da C. **Uso da resistografia na modelagem da densidade básica de clones de eucalipto**. 41 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologia de Celulose e Papel). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG. 2011.

DOSI, G. **Mudança técnica e transformação industrial: a teoria e uma aplicação à indústria dos semicondutores**. São Paulo: Editora da UNICAMP, 460 p. 2006.

Embrapa Floresta. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1052928/1/ComunicadoTecnico368.pdf>> Acessado em: 29/dez/2017.

FERRAZ FILHO, A. C. **Management of eucalyptus plantations for solid wood production**. 127 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) -Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

FIORELLI, J. et al. Propriedades mecânicas de peças com dimensões estruturais de *Pinus* spp: correlação entre resistência à tração e classificação visual. **Revista Árvore** (Impresso), v. 33, n. 4, p.741-750, 2009.

FLÓREZ, J. M., **Caracterização tecnológica da madeira jovem de teca (*Tectona grandis* L. f.)**. 2012. 85 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

FOELKEL, C. E. B., MORA, E., MENOCELLI, S. Densidade básica: sua verdadeira utilidade como índice de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose. **O papel**, n.5, 1992.

FORZZA, R. C.; BAUMGRATZ, J. F. A.; BICUDO, C. E. M.; CARVALHO JÚNIOR, A. A.; COSTA, A.; COSTA, D. P.; HOPKINS, M.; LEITMAN, P. M.; LOHMANN, L. G.; MAIA, L. C.; MARTINELLI, G.; MENEZES, M.; MORIM, M. P.; COELHO, M. A. N.; PEIXOTO, A. L.; PIRANI, J. R.; PRADO, J.; QUEIROZ, L. P.; SOUZA, V. C.; STEHMANN, J. R.; SYLVESTRE, L. S.; WALTER, B. M. T.; ZAPPI, D. (Ed.). **Catálogo de plantas e fungos do**

Brasil. Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson Estúdio: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, v. 1. 870 p. 2010.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica: novos dados sobre a situação da Mata Atlântica.** 2012. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/5697/sos-mata-atlantica-e-inpe-divulgam-dados-do-atlas-dos-remanescentes-florestais-da-mata-atlantica-no-periodo-de-2010-a-2011/>. Acesso em: 28 Dez. 2017.

GANTZ, C. H. **Evaluating the efficiency of the resistograph to estimate genetic parameters for wood density in two softwood and two hardwood species.** 78p. Dissertação (Mestrado) - Graduate Faculty of North Carolina State University. 2002.

GARAY, I.; KINDEL, A. & JESUS, R.M. Diversity of humus forms in the Atlantic Forest ecosystems (Brazil). *The Tableland Atlantic Forest*. Acta Oecol., 16:553-570, 1995.

GOMES, A. de F. **Avaliação das características da madeira e da polpa de *Eucalyptus* mediante a aplicação de métodos não destrutivos na árvore viva.** 124 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

GONÇALVES, F. G. **Avaliação da qualidade da madeira de Híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *grandis* para produtos sólidos.** 2006. 153 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2006.

GONÇALVES, S. V. B. **Ferramentas para a avaliação das propriedades da madeira em Árvores vivas de *Toona ciliata* (Roemer) e aplicações no melhoramento genético.** 61 P. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia da Madeira), Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2009.

GORINI, A. F. **A Indústria de Móveis no Brasil.** São Paulo: Alternativa, 2001.

GOUVÊA, A. F. G.; TRUGILHO, P. F.; GOMIDE, J. L, SILVA, J. R. M. da; ANDRADE, C. R.; ALVES, I. C. N. Determinação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus* por diferentes métodos não destrutivos. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 35, n. 2, p. 349-358, 2011.

HEINSDIJK, D.; MACEDO, J. G. de; ANDEL, S.; ASCOLY, R. B. **A floresta do norte do Espírito Santo.** Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Setor de Inventários Florestais, 68 p. (Boletim, 7). 1965.

HELLMEISTER, J. C. **Sobre a determinação das características físicas da madeira** Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo. Tese (Doutorado), p. 119. 1982.

HOSOKAWA, R. T., **Produção de madeira de *Pinus taeda* de qualidade superior.** Curitiba, 20 mar. Informação verbal. 2013.

IBF – Instituto Brasileiro de Florestas. Disponível em: <<https://www.ibflorestas.org.br/bioma-mata-atlantica.html>>. Acessado em: 26/dez/2017.

IBQP – Instituto Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Paraná. **Análise da competitividade da cadeia produtiva da madeira no estado do Paraná.** Curitiba: IBQP, 345 p. 2002.

ICMBIO – Ministério do Meio Ambiente. Instituto Chico Mendes. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/biomas-brasileiros/mata-atlantica>>. Acessado em: 26/dez/2017.

IPE – Instituto de Pesquisas Ecológicas. Disponível em: <flora.ipe.org.br/sp/111?pdf=1>. Acessado em: 02/jan/2018.

IPEF - Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais – Disponível em: <<http://www.ipef.br/identificacao/nativas/detalhes.asp?codigo=7>> . Acessado em: 02/jan/2018.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Disponível em: <http://www.ipt.br/informacoes_madeiras/4.htm> Acessado em: 28/dez/2017.

JANKOWSKY, I. P. (COORD.) **Madeiras Brasileiras**. Caxias do Sul: Spectrum, Vol. 1.172p. 1990.

JANUÁRIO, P. da S. **Linhas de financiamento para atividades florestais**. 2008. 33f. Monografia. Engenharia Florestal – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2008.

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

KOLMANN, F. P. P.; COTÉ, W. A. J. **Principles of wood science and technology**. New York. 403-404. 1968.

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

LIMA, C. K. P.; MORI, F. A.; MENDES, L. M.; CARNEIRO, A, C. O. Características anatômicas e química da madeira de clones de *Eucalyptus* e sua influência na colagem. **Revista Cerne**, vol. 13, núm. 2, pp. 123-129, 2007.

LIMA, J. T.; SARTÓRIO, R. C.; TRUGILHO, P. F.; CRUZ, C. R.; VIEIRA, R. S. Uso do resistógrafo para estimar a densidade básica e a resistência à perfuração da madeira de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, n. 75, p. 85-93. 2007.

LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S. C. S.; CRUZ, C. R. Deformações residuais longitudinais decorrentes de tensões de crescimento em eucaliptos e suas associações com outras propriedades. **Revista Árvore**, Viçosa – MG, v. 28, n.1, p. 107-116, 2004.

LISBOA, C. D. J. **Estudo das tensões de crescimento em toras de *Eucalyptus grandis* Hill. ex maiden**, Tese (Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná). Curitiba, PR. 298p. 1993

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, 352 p. 1992.

LUCAS FILHO, F. C. **Análise da usinagem da madeira visando a melhoria de processos em indústria de móveis**. Tese (Doutorado em Engenharia de produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 176f. 2004.

LUCAS FILHO, F.C. **Análise da usinagem da madeira visando a melhoria de processos em indústrias de móveis**. 2004. 176f. Tese (Doutorado em Gestão do Design e do Produto) - Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

MAINIERI C.; PEREIRA, J. A. Madeiras do Brasil: sua caracterização macroscópica, usos comuns e índices qualitativos físicos e mecânicos. **Anuário Brasileiro de Economia Florestal**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 17, p. 133-416, 1965.

MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P. **Fichas de características das madeiras brasileiras**. São Paulo: IPT, 418 p. 1989.

MASSAK, M. V. **Influência da idade da árvore na velocidade de propagação de ondas de ultrassom em peças estruturais de madeira de reflorestamento**. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. --Campinas, SP: [s.n.], 2010.

MC DONALD, K. A. et al. **Nondestructive testing of wood products and structures: state of the art and research needs**. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. p. 137-147. 1990.

MEIS, M.R.M. **Contribuição ao estudo do Terciário Superior e Quaternário da baixada da Guanabara**. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Tese de Doutorado. 1976.

MILARÉ, E. **Direito do ambiente: doutrina, prática, jurisprudência, glossário**. Editora Revista dos Tribunais. 2007.

MIOTTO, J.L.; DIAS, A.A. **Produção e avaliação de vigas de madeira laminada colada confeccionadas com lâminas de Eucalipto**. Revista Tecnológica, Edição Especial ENTECA, p.35-45, 2009.

MORESCHI, J. C., **Propriedades da Madeira**. Apostila UFPR, 4ª edição atualizada, p.101, 2014.

NAHUZ, M. A. R.; MIRANDA, M. J. A. C.; IELO, P. K. Y.; PIGOZZO, R. J. B.; YOJO, T. **Catálogo de madeiras brasileiras para construção civil**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 103p. (Publicação IPT, 4371). 2013.

OLIVEIRA, A. C. **Amostragem não destrutiva e qualidade da madeira em clones de *Eucalyptus* spp.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira). Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, 2011.

OLIVEIRA, F. G. R. **Ultra-som em madeiras**. Jornal Primeira Página. São Carlos. 2000.

PÁDUA, F. A. de; TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S. C. S.; LIMA, J. T.; CARDOSO JÚNIOR, A. A.; OLIVEIRA, A. C. de. Estimativa de parâmetros genéticos das tensões de crescimento em clones de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 66, p. 152-160, 2004.

PIGOZZO, J.C. et al. **Aspectos da classificação mecânica de peças estruturais de madeira**. In: In: VII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, Anais CD-Rom, São Carlos- SP., 2000.

PREZIOSA, C; **Méthode de détermination des constantes élastiques du matériau bois par utilisation des ultrasons**. Université d'Orléans (Orléans) 1982.

RINN, F.; SCHWEINGRUBER, F. H.; SCHAR, E. Resistograph and X-ray density charts of wood comparative evaluation of drill resistance profiles and X- ray density charts of different wood species. **Holzforschung**, Berlin, v.50, n.4, p.303-311. 1996.

RIZZINI, C. T. **Árvores e madeira úteis do Brasil: manual de dendrologia brasileira**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 296 p. 1978.

RIZZINI, C.M.; ADUAN, R.E.; JESUS, R.M. & GARAY, I. **Contribuição ao conhecimento da Floresta Pluvial de Tabuleiros**, Linhares, ES, Brasil. *Leandra*, 12:54-76, 1997.

RODRIGUES, E. D. C.; ROSADO, S C D; TRUGILHO, P F; SANTOS, A M. Clone selection of Eucalyptus envisaging wood physical properties assessed on field conditions. *Cerne*, v. 14, n. 2, p. 147–152, 2008.

ROSS, R. J. ; PELLERIN, R. F. ; VOLNY, N. ; SALSIG, W. W. ; FALK, R. H. “**Inspection of Timber Bridges Using Stress Wave Timing Nondestructive Evaluation Tools**”. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-114 USDA, Department of Agriculture, Forest Service, Madison, WI.17 p, 1999.

SANDOZ, J. L. **Triage et fiabilité de bois de construction**. 186p. Thèse (Doctorat em Sciences Techniques) – Departement de Génie Civil, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, Lausanne, Suisse. 1990.

SFB - Serviço Florestal Brasileiro - **Panorama Econômico do Setor Florestal**. Boletim produzido pela Gerência Executiva de Planejamento Florestal. Março de 2014, Ano 1, Edição 1, Publicação Semestral. Disponível em: <http://www.abimci.com.br/wp-content/uploads/2014/02/Panorama_Economico_1_2014-PUBLICADO.pdf>. Acessado em: 27/dez/2017.

SILVA, Carina Camargo. **Potencial de espécies nativas para a produção de madeira serrada em plantios de restauração florestal**. Dissertação – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2013.

SILVA, J. R.; MUNIZ, G. I. B. ; LIMA, J. T.; BONDUELLE, A. F. Influência da morfologia das fibras na usinabilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 29, n. 3, p.479-487, mai./jun. 2005.

SILVA, J.R. M. da.; LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F. **Usinagem da madeira de Eucalyptus grandis em diferentes regiões da medula à casca**. *Cerne*, Lavras-MG, v.13, n.1, p 25-31. 2007.

SILVA, L. B. X. da; REICHMANN NETO, F.; TOMASELLI, I. Estudo comparativo da produção de biomassa para energia entre 23 espécies florestais. *Silvicultura*, São Paulo, v. 8, n. 28, p. 872-878, 1983. Edição dos Anais do 4º Congresso Florestal Brasileiro, 1982, Belo Horizonte.

SOUZA, M. A. M. de; TRUGILHO, P. F.; LIMA, J.T.; ROSADO, S. C. da S. Deformação residual longitudinal e sua relação com algumas características de crescimento e da madeira em clones de *Eucalyptus*. *Revista Floresta* v.33, n.3, p. 275-284. 2003.

SOUZA, M. H.; MAGLIANO, M. M.; CAMARGOS, J. A. A. **Madeiras tropicais brasileiras**. 2. ed. rev. Brasília, DF: IBAMA, 152 p. 2002.

TABANEZ, A.T.; VIANA, V.M.;. Consequências da fragmentação e do efeito de borda sobre a estrutura, diversidade e sustentabilidade de um fragmento de floresta de planalto de Piracicaba, SP. *Revista Brasileira de Biologia*, v. 57, n. 1, p. 47-60, 1997.

TREVISAN, Henrique et al. Avaliação de propriedades físicas e mecânicas da madeira de cinco espécies florestais em função da deterioração em dois ambientes. *Revista Árvore*, v. 31, n. 1, 2007.

TRUGILHO, P. F.; IWAKIRI, S.; ROCHA, M. P. da; MATOS, J.L. M. de; SALDANHA, L. K. Efeitos da idade e classe diamétrica na deformação residual longitudinal em árvores de *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.5, p.725-731, 2004.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; PÁDUA, F. A.; SORAGI, L. C.; ANDRADE, C. R. Deformação residual longitudinal (DRL) e tangencial (DRT) em seis clones de *Eucalyptus* spp. **Revista Cerne**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 279-286, 2006.

VALE, A. T.; MOURA, V. P. G.; MARTINS, I. S.; REZENDE, D. C. A. Densidade básica média em função da produtividade e da penetração do pino Pilodyn e da classe diamétrica e variação axial da densidade básica em *Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden. **Árvore**, v. 19, n. 1, p.80-91, 1995.

VARGHESE M.; NICODEMUS A.; RAMTEKE P. K.; ANBAZHAGI G.; BENNET SSR.; SUBRAMANIAN K. Variation in Growth and Wood Traits Among Nine Populations of Teak in Peninsular Índia. **Silvae Genetica**; 49(2-5): 201-205. 2000.

VIDAURRE, G. B.; NUTTO, L.; FRANÇA, F. J. N.; BRAZ, R. L.; WATZLAWICK, L. F.; MOULIN, J. C. Tensão de crescimento no lenho de *Eucalyptus benthamii* e sua relação com características dendrométricas em diferentes espaçamentos. **Floresta e Ambiente**. v. 22, n.3, p. 408-415. 2015.

WAUBKE, N.V. **Grundsätzliche Untersuchungen zur Eignung der Ultraschallimpulslaufzeitmessungen als vereinfachte und genauere Methode zur Klassifikation von Bauhölzern**. Institut für Baustoffkunde and Bauphysik der Hochschule der Bundeswehr München, Deutschland, 56p. 1981.

8. ANEXOS



