

UFRRJ

INSTITUTO DE FLORESTAS

**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

DISSERTAÇÃO

**Avaliação não destrutiva da qualidade da madeira e do
fuste de árvores de *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub
em área de restauração florestal**

Carolina Nogueira Xavier

2016



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

**Avaliação não destrutiva da qualidade da madeira e do fuste de árvores de
Peltophorum dubium (Spreng.) Taub em área de restauração florestal**

CAROLINA NOGUEIRA XAVIER

Sob a Orientação do Professor
Alexandre Monteiro de Carvalho

e Co-orientação do Professor
Alexandre Miguel do Nascimento

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

Seropédica, RJ
Fevereiro de 2016

575.46

X3a

T

Xavier, Carolina Nogueira, 1990-
Avaliação não destrutiva da
qualidade da madeira e do fuste de
árvores de *Peltophorum dubium*
(Spreng.) Taub em área de restauração
florestal / Carolina Nogueira Xavier
- 2016.

55 f. : il.

Orientador: Alexandre Monteiro de
Carvalho.

Dissertação (mestrado) -
Universidade Federal Rural do Rio de
Janeiro, Curso de Pós-Graduação em
Ciências Ambientais e Florestais.

Bibliografia: f. 42-55.

1. Madeira - Avaliação - Teses. 2.
Madeira - Controle de qualidade -
Teses. 3. Madeira - Densidade -
Teses. 4. Reflorestamento - Teses. I.
Carvalho, Alexandre Monteiro de,
1971-. II. Universidade Federal Rural
do Rio de Janeiro. Curso de Pós-
Graduação em Ciências Ambientais e
Florestais. III. Título.

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

CAROLINA NOGUEIRA XAVIER

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.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 26/02/2016

Prof. Dr. Alexandre Monteiro de Carvalho - UFRRJ

Prof. Dr. Pedro Henrique Santin Brancalion - ESALQ/USP

Prof. Dr. João Vicente de Figueiredo Latorraca - UFRRJ

Aos meus pais, Ana Maria e Ubiratan, pelo amor incondicional, dedicação e por sempre estarem ao meu lado.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por iluminar meu caminho e me proteger durante esta trajetória.

Aos meus pais, Ana Maria e Ubiratan, por não medirem esforços no investimento da minha educação, por me ensinar que o conhecimento é a maior riqueza que podemos ter, me apoiarem e fazer acreditar que nada é impossível, abrindo mão de muitas coisas para me proporcionar a conclusão de mais uma etapa acadêmica, sempre acreditando na minha capacidade. Sem vocês, certamente, não estaria aqui.

À linda Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, onde conclui minha graduação e agora o mestrado, um lugar ímpar, pela oportunidade do ensino público de qualidade proporcionado, pelo convívio com diversas pessoas, de diferentes lugares, possuidores de peculiaridades, diferentes culturas, mas que me fizeram compreender a importância da vivência de um mundo de diversidades para a construção de uma pessoa e um mundo melhor.

Ao meu orientador Prof. Alexandre Monteiro de Carvalho pela confiança, pelo apoio, pelos conselhos, pela amizade desde a graduação no PET e com a sua calma em lidar com as situações, sempre me fez acreditar que tudo iria dar certo mesmo nos momentos mais difíceis e angustiantes.

Ao Prof. Alexandre Miguel do Nascimento, que me orientou na graduação e despertou o desejo de continuar trilhando o caminho acadêmico e agora na co-orientação desse trabalho, agradeço pela receptividade quando o procurava para esclarecer as dúvidas, pela divisão de conhecimentos e pelas conversas e conselhos.

Ao Prof. João Vicente Latorraca por disponibilizar os equipamentos e o laboratório para a realização de parte da pesquisa e auxiliar nas dúvidas decorrentes.

Aos Professores Ricardo Rodrigues e Pedro Brancalion, da ESALQ/USP, pela confiança depositada na nossa equipe, pela oportunidade de fazer parte do Projeto Temático da FAPESP e pela assistência dada na logística da pesquisa no interior de São Paulo.

A Engenheira Florestal Carina Camargo - sua ajuda foi de extrema importância no trabalho, sempre muito prestativa, obrigada pela sua disposição em ir ao campo mostrar as áreas de estudo, e por diversas outras situações em que você auxiliou. Não cansarei de te agradecer, obrigada por tudo!

Ao Sr. Manoel e ao proprietário da Fazenda Santana do Monte Alegre, por permitir a realização da pesquisa na fazenda e aos funcionários, que nos receberam com muita simpatia e ajudaram no que precisava tornando os nossos dias de campo melhores.

Ao Sr. Vanderlei e Sr. Vitor do LERF, por nos levar ao campo durante os dias que fizemos a coleta dos dados no interior de São Paulo.

Aos meninos da República do Galo, Ananias Jr., Fernando, Hermes e João obrigada por hospedar a nossa equipe todas as vezes que fomos para Piracicaba.

A equipe do laboratório de anatomia e qualidade da madeira, Letícia, Léo, Leif, Jair, Zé, por me ajudarem sempre que chegava com uma dúvida no laboratório, estavam sempre dispostos a procurar uma solução. Em especial ao técnico Tiago pela força, literalmente, no campo, pois para retirar as baguetas haja braço! Obrigada, por vestir a camisa da equipe, sua contribuição no campo foi de enorme importância no trabalho.

A equipe do Laboratório de Processamento Mecânico, em especial ao funcionário Dinaldo por estar sempre disposto a me ajudar, pelas conversas, risadas e todos esses anos de convivência. Obrigada Osmar, por me ajudar a executar as minhas idéias de plotar gráfico nas imagens desse trabalho.

Cadu e Pablo participamos do mesmo projeto durante esses dois anos de mestrado, compartilhamos anseios, angústias, preocupações, disciplinas, risadas, discussões, cansaço, carrapatos, mosquitos, sanduíches no campo. Nossa equipe passou por tantas coisas... e finalmente podemos dizer que conseguimos! Obrigada pela ajuda no campo e no laboratório.

E o que falar das amizades que estabeleci durante o mestrado, divã é como chamamos o nosso grupo que foi construído durante um congresso e nunca mais se separou, Letícia, Marcondes e Keiti obrigada por me ajudarem, escutarem meus desabafos, me acalmarem nos momentos de desesperos, compartilharem de angústias, momentos divertidos e alegres, pelos almoços no laboratório e no fim, tudo acabava com uma boa gargalhada. O meu muito obrigada por tornar os meus dias mais leves e divertidos.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo auxílio financeiro por meio de Projeto Temático (Processo n° 2013/50718-5).

A todos que de forma direta ou indireta contribuíram para o desenvolvimento desse estudo. Agradeço!

RESUMO

XAVIER, Carolina Nogueira. **Avaliação não destrutiva da qualidade da madeira e do fuste de árvores de *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub em área de restauração florestal.** 2016. 55 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais, Ciência e Tecnologia de Produtos Florestais). Instituto de Florestas, Departamento de Produtos Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2016.

O presente estudo teve como objetivo avaliar a qualidade da madeira das árvores de *Peltophorum dubium* (canafístula) obtida em área de restauração florestal utilizando métodos não destrutivos. Os 18 indivíduos de canafístula estudados estão localizados em três diferentes sítios na Fazenda Santana de Monte Alegre, Descalvado/SP, e foram avaliados aos 14 anos de idade. As seguintes metodologias não destrutivas foram utilizadas para avaliar a qualidade da madeira em árvores vivas: densitometria de raios X - que analisou a variação radial da densidade da madeira em níveis micrométricos; resistografia - para a avaliação da densidade e fitossanidade da árvore ainda no campo; e extensometria, para avaliar a deformação residual longitudinal (DRL). Para a análise silvicultural da espécie foi mensurado o CAP (circunferência a altura do peito) e calculado o incremento diamétrico. Para a análise qualitativa do fuste, foram observadas e anotadas as seguintes características: presença de bifurcação, ocos e tortuosidade do fuste. Foi ainda realizada a análise química do solo nos três diferentes sítios. Verificou-se que a variação radial da densidade da canafístula possui um aumento no sentido medula-casca, sendo a densidade da canafístula moderadamente alta. Em relação a fitossanidade nenhuma árvore apresentou ocos internos. Os resultados da deformação residual longitudinal mostraram que a espécie aproximou-se de valores encontrados em clones de *Eucalyptus* e apresentou correlações significativas e positivas com o DAP e o incremento diamétrico médio anual. As árvores de canafístula apresentaram boa qualidade do fuste em 77,8% dos indivíduos e regular em 22,2% deles, apresentando capacidade de produzir fustes retos e com poucas bifurcações. Nos três sítios observou-se diferença estatística em relação ao DAP e ao incremento diamétrico, fato relacionado aos dados da análise química do solo. O sítio 3 foi o que apresentou maiores DAP e incremento diamétrico, este possui maiores níveis de Ca e Mg, elementos que são limitantes para o crescimento da canafístula. A metodologia não destrutiva mostrou-se uma ferramenta de rápida utilização no campo e de baixo custo, comparada às metodologias destrutivas tradicionais. Portanto, a madeira de canafístula, dentre as propriedades tecnológicas estudadas, demonstrou boa qualidade para o uso no setor madeireiro, apresentando também características silviculturais que propiciam o uso da espécie para a produção de madeira, como por exemplo, o desenvolvimento de fustes retos e poucos bifurcados, resultados que contribuem para maiores rendimentos na transformação em madeira serrada. Considerando em conjunto todas as características e propriedades estudadas, a espécie apresentou um ótimo potencial para a produção e inserção no setor madeireiro.

Palavras-chave: Propriedades tecnológicas da madeira, características silviculturais, canafístula.

ABSTRACT

XAVIER, Carolina Nogueira. **Nondestructive evaluation of wood quality of the trunk of *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub in forest restoration area.** 2016. 55 p. Dissertation (Master in Forest and Environmental Sciences). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2016.

This research aimed to evaluate the quality of the wood of *Peltophorum dubium* (canafístula), obtained in forest restoration areas using non-destructive methods. The 18 individuals of canafístula studied are located in three different locations in the farm Santana do Monte Alegre, Descalvado/SP and were evaluated at 14 years of age. The following non-destructive methods for evaluating the quality of the wood in trees alive were used: densitometry X-ray - which analyzed the radial variation of wood density in micron levels; resistograph - for the assessment of the density of the tree and plant still in the field; and extensometer, used to verify the longitudinal residual strain (LRS). For the silvicultural analysis of the species was measured the CBH (circumference at breast height) and calculated the annual periodic increment in diameter. For qualitative analysis of the trunk, were observed and recorded the following characteristics: presence of fork, hollow timber and tortuosity of the trunk. It was also performed chemical analysis of soil in three different locations. It was found that the radial variation in density has increased in canafístula on pith to bark, showing the moderately high density of canafístula. The trees hasn't the presence of internal hollow. The results of longitudinal residual strain showed that the species approached values found in *Eucalyptus* clones and showed significant and positive correlations with the DBH and the average annual diameter increment. The canafístula trees showed good quality of the stem in 77,8% of subjects and regular in 22,2% of them, with capacity to produce straight stems with few bifurcations. In the three locations there was a statistical difference in relation to DBH and annual periodic increment in diameter, a fact related to the data of chemical analysis of soil. The site number 3 showed the largest DBH and increment in diameter, it has higher levels of calcium and magnesium, elements that are limiting to the growth of canafístula. A non-destructive methodology proved to be a fast tool field use and low cost, compared to traditional destructive methods. Therefore, the timber of canafístula among the studied technological properties, showed good quality for use in the lumber industry also presenting silvicultural characteristics which favor the use of the species for the timber, such as the development of upright stems and few forked, results that contribute to higher yields in the processing in lumber. Considering together all the features and properties studied, the species showed a great potential for the production and insertion in the timber sector.

Keywords: wood technological properties, silvicultural characteristics, canafístula.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Mapa dos locais de ocorrência natural de <i>Peltophorum dubium</i> . Fonte: Carvalho (2002) | 4 |
| Figura 2. <i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub. (A) Exemplar da árvore; (B) Folhas e flores; (C) Fruto; (D) Sementes; (E) Casca; (F) Madeira. Fonte: Adaptado de Lorenzi (2002). | 5 |
| Figura 3. Área de estudo no município de Descalvado, SP. Fonte: ACESSA SP (2016) | 14 |
| Figura 4. Balanço hídrico do município de Descalvado, SP. Fonte: Nurma (2016) | 14 |
| Figura 5. Vista aérea dos três diferentes sítios e das árvores estudadas | 15 |
| Figura 6. Qualidade do fuste. (A) Fuste reto, de boa qualidade; (B) Fuste levemente tortuoso, qualidade regular; (C) Fuste com bifurcação, qualidade regular | 16 |
| Figura 7. Mensuração da deformação residual longitudinal (DRL). (A) Retirada da casca; (B) Fixação pinos metálicos com gabarito; (C) Pinos metálicos fixados no lenho; (D) Extensômetro apoiado no pino metálico; (E) Liberação da tensão de crescimento através do orifício feito com o arco de pua | 17 |
| Figura 8. Determinação da densidade básica pelo método gravimétrico. (A) Amostras analisadas; (B) Amostras pesadas na balança digital. | 18 |
| Figura 9. Retirada e preparação da amostra. (A) Extração da amostra diametral do lenho através da sonda de Pressler; (B) Amostra colada em suporte de MDF; (C) Corte da amostra com dupla-serra circular paralela; (D) Amostra seccionada com 2 mm de espessura. | 19 |
| Figura 10. Determinação da densidade aparente através da densitometria de raios X. (A) Equipamento densitometria de raios X da Quintek Measurement Systems (QMS), modelo QTRS-01X; (B) Amostra no suporte metálico graduado; (C) Encaixe do suporte metálico com a amostra no compartimento interno; (D) Escaneamento da amostra e a visualização na tela do monitor do computador. | 20 |
| Figura 11. Mensuração da densidade através do resistógrafo. (A) Resistógrafo; (B) Mensuração da densidade em árvores vivas através do resistógrafo; (C) Perfuração realizada de casca a casca, broca atravessando o lenho. | 21 |
| Figura 12. Calibração do resistógrafo para a utilização da densidade como unidade para o eixo y. (A) Amostras de madeira utilizadas para a calibração; (B) Calibração no software Decom; (C) Gráfico plotado na imagem das amostras. | 22 |
| Figura 13. Média do Diâmetro a altura do peito (DAP) nos três sítios estudados. Médias seguidas por letras distintas mostram diferenças significativas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância | 24 |

| | |
|---|----|
| Figura 14. Média do incremento periódico anual em diâmetro (IPA ₂₀₁₂₋₂₀₁₅) nos três diferentes sítios. Médias seguidas por letras distintas mostram diferenças significativas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. | 25 |
| Figura 15. Média do incremento médio anual em diâmetro (IMA) nos três diferentes sítios. Médias seguidas por letras distintas mostram diferenças significativas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. | 25 |
| Figura 16. Aspectos qualitativos do fuste de canafístula. | 27 |
| Figura 17. Amostra no plano transversal para a caracterização macroscópica da madeira de canafístula. | 28 |
| Figura 18. Perfil diametral da densidade aparente (kg/m ³) da árvore 967W na direção casca-casca através da densitometria de raios X. | 31 |
| Figura 19. Perfil diametral da densidade aparente (kg/m ³) da árvore 973 na direção casca-casca através do resistógrafo. | 35 |
| Figura 20. Correlação da densidade aparente (kg/m ³) determinado pelo resistógrafo e a distância percorrida pela broca (cm). | 36 |
| Figura 21. Comparação gráfica do perfil diametral gerado pela densitometria de raios X e resistógrafo. | 38 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1. DAP (cm) nos anos de 2012 e 2015, IPA (cm/ano) e IMA (cm/ano). | 23 |
| Tabela 2. Análise química das amostras de solo dos três sítios estudados..... | 26 |
| Tabela 4. DAP (cm) e densidade aparente (kg/m^3) determinada pelo método de densitometria de raios X..... | 29 |
| Tabela 5. Densidade aparente (kg/m^3) nas três regiões: próximo ao câmbio e próximo a medula determinada pelo método de densitometria de raios X..... | 30 |
| Tabela 6. Diâmetro a altura do peito (DAP) (cm) e densidade aparente (kg/m^3) determinada pelo método da resistografia..... | 33 |
| Tabela 7. Densidade aparente (kg/m^3) nas três regiões: próximo ao câmbio e a medula determinada pelo método de resistografia. | 34 |
| Tabela 8. Comparação da densidade aparente (kg/m^3) determinada pela densitometria de raios x e resistógrafo. | 37 |
| Tabela 9. Valores do DAP, determinação residual longitudinal (DRL) e espessura da casca para as 18 árvores de canafístula. | 39 |
| Tabela 10. Correlação pelo método de Pearson entre o DAP, DRL e a espessura da casca. ... | 40 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. OBJETIVO GERAL | 3 |
| 2.1. Objetivos específicos..... | 3 |
| 3. REVISÃO DE LITERATURA | 3 |
| 3.1. A restauração florestal e a produção de madeira nativa..... | 3 |
| 3.2. <i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub..... | 4 |
| 3.3. Qualidade do fuste..... | 6 |
| 3.4. Qualidade da madeira..... | 7 |
| 3.4.1. Tensões de crescimento..... | 8 |
| 3.4.2. Densidade da madeira | 9 |
| 3.4.3. Variação radial da madeira..... | 10 |
| 3.5. Métodos não destrutivos para avaliação da madeira..... | 10 |
| 3.5.1. Extensômetro..... | 11 |
| 3.5.2. Resistógrafo..... | 11 |
| 3.5.3. Densitometria de raios X..... | 12 |
| 4. MATERIAL E MÉTODOS | 13 |
| 4.1. Área de estudo..... | 13 |
| 4.2. Análise das características silviculturais | 15 |
| 4.3. Análise química do solo | 16 |
| 4.4. Caracterização macroscópica da madeira | 16 |
| 4.5. Avaliação da deformação residual longitudinal (DRL) | 17 |
| 4.6. Determinação da densidade básica pelo método gravimétrico | 18 |
| 4.7. Determinação da densidade aparente pela densitometria de raios X | 18 |
| 4.8. Determinação da densidade aparente a partir do resistógrafo..... | 20 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 23 |
| 4.9. Incremento diamétrico..... | 23 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.10. | Análises do solo | 26 |
| 4.11. | Qualidade do fuste..... | 27 |
| 4.12. | Caracterização macroscópica da madeira de <i>Peltophorum dubium</i> | 28 |
| 4.13. | Determinação da densidade básica pelo método gravimétrico e da densidade aparente pelo método da densitometria de raios X | 28 |
| 4.14. | Determinação da densidade aparente e amplitude (%) pelo método da resistografia 32 | |
| 4.15. | Comparação entre os métodos de densitometria de raios X e resistografia para a determinação da densidade aparente..... | 36 |
| 4.16. | Determinação da deformação residual longitudinal (DRL) através do extensômetro 38 | |
| 5. | CONCLUSÕES..... | 41 |
| 6. | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 41 |
| 7. | REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS | 42 |

1. INTRODUÇÃO

As áreas de restauração florestal vêm crescendo significativamente nos últimos anos, além de ser uma alternativa de restabelecimento da biodiversidade local, existem algumas pesquisas que focam em novos modelos de restauração visando à produção de madeira tropical.

Estudos demonstram que as plantações florestais mistas para a produção de madeira são um dos poucos meios pelos quais grandes áreas abertas ou paisagens degradadas podem ser reflorestadas em grandes extensões (CHAZDON, 2008; LAMB, 1998; LAMB; ERSKINE; PARROTTA, 2005; SILVA, 2013), proporcionando um grande potencial de incremento da biodiversidade local e regional, agregando função socioeconômica para a floresta e diminuindo a pressão sobre as florestas nativas (BRIENZA JÚNIOR et al., 2008; citado por SILVA, 2013).

Silva (2013) avaliando o potencial de espécies nativas para a produção de madeira serrada em plantios de restauração florestal afirma que existem carências básicas de conhecimento que precisam ser supridas para o melhor planejamento de modelos de restauração focados na produção madeireira de espécies nativas. Para suprir essa demanda, reflorestamentos antigos e com diferentes idades podem oferecer valiosas informações para a elaboração de modelos viáveis de silvicultura de nativas, facilitando a escolha de espécies adequadas, o estabelecimento de ciclos de exploração e também a proposição de ações de manejo necessárias para que se obtenha maior quantidade e qualidade da madeira comercial produzida para diferentes usos.

Assim, a restauração florestal torna-se uma alternativa para produzir madeira, além de estar dentro do contexto da sustentabilidade. Para tal, fazem-se necessários estudos que comprovem a viabilidade de gerar produtos florestais de qualidade a partir da restauração florestal.

Quando se determina a escolha da madeira correta para um determinado uso, devem-se considerar quais as propriedades e os respectivos níveis requeridos para que a madeira possa ter um desempenho satisfatório. Esse procedimento é primordial, principalmente em países tropicais, onde a variedade e o número de espécies de madeiras existentes na floresta são expressões da sua biodiversidade (IPT, 2009).

Segundo Couto (2011) a utilização da madeira sob sua forma mais proveitosa depende diretamente das propriedades que a mesma apresenta, pois os processos e qualidade dos produtos nos quais a madeira se faz presente dependem diretamente das suas atribuições químicas, físicas, anatômicas e mecânicas. Portanto, a adequada caracterização da madeira se torna uma etapa vital para o sucesso deste material como matéria-prima.

Para Trugilho; Silva (2004) a madeira é um material altamente heterogêneo, ocorrendo variações entre espécies e dentro de uma mesma espécie, entre árvores, e até em nível celular. Essas variações são atribuídas, principalmente, a fatores genéticos e ambientais. Muitas diferenças ocorrem, por exemplo, entre cerne e alburno, madeira de início e fim de estação de crescimento, e, em escala microscópica.

As propriedades da madeira variam conforme a espécie, a idade, posição geográfica, clima e das condições do solo em que a floresta foi plantada (CARNEIRO, 2006). De acordo com Ragland; Aerts; Baker (1991) algumas propriedades da madeira também sofrem variações devido às condições de crescimento da árvore.

De acordo com Mendonça (2006) surge a necessidade de trabalhos científicos que visem à dinamização da mensuração de variáveis e da relação entre o silvicultor e as indústrias madeireiras.

A investigação pode iniciar na própria floresta, verificando as variáveis dendrométricas, como por exemplo, a circunferência a altura do peito (CAP) e a qualidade do fuste. A partir desses dados, é possível avaliar a viabilidade do uso comercial, se o fuste é tortuoso ou possui muitas bifurcações, o que impossibilita o uso da madeira para serraria.

Para a avaliação da qualidade da madeira há métodos destrutivos, considerados os tradicionais e já consagrados, e os métodos não destrutivos, que são aqueles realizados ainda na floresta, que não alteram o material para o uso, além de não ser necessário o abate da árvore para analisá-la. Na maioria dos métodos não destrutivos são usadas tecnologias recém desenvolvidas para aferir as propriedades da madeira.

De acordo com Zhang; Wang; Su (2011) a utilização de métodos não destrutivos para avaliação da madeira é de alta relevância prática para a silvicultura e para a indústria de processamento da madeira.

As técnicas não destrutivas têm como vantagem poder verificar as características da madeira e identificar defeitos internos com a árvore viva, fazendo com que haja um maior aproveitamento da madeira, assim como maiores rendimentos econômicos e ganhos na qualidade da madeira.

A avaliação da árvore em pé tem sido de grande interesse para as indústrias de produtos florestais e para o manejo florestal em todo o mundo. O uso de tal tecnologia não proporciona apenas uma maior lucratividade para a indústria florestal, mas também pode ajudar os silvicultores a tomar decisões de gestão e produzir madeira de alta qualidade (WANG; ROSS; CARTER, 2007; citado por TRIANOSKI, 2012).

Existe grande interesse por parte dos pesquisadores no desenvolvimento de métodos adequados de avaliação das propriedades de árvores em pé. Considerável economia, tanto em matéria prima, quanto em processo, pode ser obtida se as propriedades da madeira forem determinadas em árvores em pé através de métodos não destrutivos, podendo-se prever e antecipar a qualidade do produto final (AMODEI, 2011).

Há anos os trabalhos focam na investigação das propriedades tecnológicas da madeira e características silviculturais de espécies exóticas como o Pinus e o Eucalipto, o que os tornou espécies de alta produtividade e com diversas metodologias para melhorar a qualidade de suas madeiras, agregando valor ao produto. As espécies nativas foram até então deixadas de lado, tornando-se necessária a realização de estudos visando relacionar à qualidade de suas madeiras com o seu comportamento silvicultural, como por exemplo, em áreas de restauração florestal, o que trará conhecimento sobre essas espécies e proporcionará a sua inclusão no mercado madeireiro.

O presente estudo buscou avaliar a hipótese de que as árvores de canafístula, produzidas em áreas de restauração florestal, produzem madeira de boa qualidade para o segmento madeireiro, sendo as avaliações conduzidas a partir de métodos não destrutivos, sem que ao longo da pesquisa houvesse a necessidade do abate de indivíduos.

2. OBJETIVO GERAL

Avaliar a qualidade da madeira e dos fustes das árvores de *Peltophorum dubium* em áreas de restauração florestal utilizando métodos não destrutivos.

2.1. Objetivos específicos

- Analisar o incremento diamétrico;
- Avaliar a qualidade do fuste através da tortuosidade, presença de bifurcação e ocos;
- Determinar a deformação residual longitudinal da árvore através de extensometria;
- Determinar a densidade básica pelo método gravimétrico;
- Determinar a variação radial da densidade da madeira através da densitometria de raios X e resistografia;
- Determinar a densidade aparente da madeira utilizando o resistógrafo e a densitometria de raios X;
- Avaliar o desempenho dos métodos não destrutivos empregados.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. A restauração florestal e a produção de madeira nativa

Um dos principais entraves para a concretização da restauração de florestas tropicais é a viabilidade econômica dos projetos, devido ao custo elevado e a falta de perspectiva de retorno financeiro (SILVA, 2013; BIRCH et al., 2010; BRANCALION et al., 2012; HOLL; HOWARTH, 2000). Neste contexto, a produção de madeira torna-se uma importante alternativa para a viabilização econômica, tornando-se um meio para atingir o objetivo final da restauração do ecossistema (SILVA, 2013).

Além disso, a disponibilidade de estudos sobre o emprego de espécies nativas para usos múltiplos é praticamente inexpressiva, sendo um fator limitante o desconhecimento sobre os aspectos silviculturais e tecnológicos das referidas espécies verificando-se, portanto, um verdadeiro descompasso ao se considerar que, atualmente, é incontestável a importância do descobrimento de matérias-primas alternativas (VIDAURRE et al., 2004).

Segundo Bertolini; Debastiani; Brun (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 *Eucalyptus* e *Pinus*, havendo atualmente um considerável conhecimento sobre a silvicultura, propriedades tecnológicas da madeira, grandes incentivos na introdução e comercialização dessas espécies exóticas.

Este cenário contribui para tornar a restauração menos atrativa para agricultores e proprietários rurais (LAMB; ERSKINE; PARROTTA, 2005). Assim, as relações de custo-efetividade desta atividade tornam-se ainda mais críticas (BIRCH et al., 2010; HOLL; AIDE,

2011). O desenvolvimento de estratégias e modelos para reduzir os custos e prover renda a partir da restauração torna-se imprescindível para o sucesso dos programas de larga-escala (ENGEL; PARROTTA, 2001; RODRIGUES; BRANCALION; ISERNHAGEN, 2009).

Alguns estudos têm afirmado que plantações florestais heterogêneas podem ser tão ou mais produtivas que plantações monoculturais (ERSKINE; LAMB; BRISTOW, 2006; PIOTTO et al., 2010; PLATH et al., 2011; citado por SILVA, 2013). Isso porque plantações biodiversas são capazes de utilizar os recursos limitantes do ecossistema com maior eficiência (devido a uma maior diversidade de atributos ecológicos e partição de nichos), o que representa uma maior produtividade primária líquida e reflete em maiores volumes de madeira produzida, caso a floresta seja bem manejada (KANOWSKI; CATTERALL, 2010; citado por SILVA, 2013).

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. Devemos avaliar os plantios e suas utilizações possíveis ou potenciais que as espécies nativas possuam. Este é o caso da canafístula, que necessita de mais estudos para que se torne viável a sua produção em larga escala (BERTOLINI; DEBASTIANI; BRUN, 2015).

3.2. *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub

A espécie *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub apresenta sinonímia botânica com outras: *Caesalpinia dubia* Sprenger; *Cassia disperma* Vellozo; *Peltophorum vogelianum* Benthham (Carvalho, 2002).

Peltophorum dubium é conhecida dentre os muitos nomes vulgares, como canafístula, ibirá ou angico-amarelo. Pertence à família das leguminosas (Fabaceae) e subfamília Caesalpinioideae, possui ampla ocorrência natural, desde o estado da Bahia até Rio Grande do Sul (Figura 1), é uma espécie nativa frequentemente encontrada na floresta estacional semidecidual (CARVALHO, 2003), e também nos países vizinhos Argentina e Paraguai (REITZ et al., 1978).



Figura 1. Mapa dos locais de ocorrência natural de *Peltophorum dubium*. Fonte: Carvalho (2002)

A canafístula tem sua forma biológica descrita como espécie caducifólia, que perde todas as folhas no inverno, podendo atingir 40 m de altura e 120 cm de diâmetro a altura do peito (DAP) na idade adulta. Ela possui tronco cilíndrico, a casca externa é de coloração marrom-escura, rugosa, provida de pequenas fissuras longitudinais (Figura 2 E), que se desprendem em lâminas pequenas quando jovem e em placas retangulares em exemplares velhos. Quando jovem, apresenta abundantes lenticelas, de distribuição difusa ou colunar multisseriada; solitárias ou anastomosadas, de disposição e abertura horizontal; A casca interna é dura, rósea, pouco fibrosa (GARTLAND; SALAZAR, 1992). Sua copa é ampla, umbeliforme, larga e achatada (Figura 2 A), suas folhas são compostas bipinadas com cerca de 25 cm de largura por 50 cm de comprimento (Figura 2 B), com flores amarelo-vivas ou alaranjadas (Figura 2 B), ramificação dicotômica cimosa e sistema sexual hermafrodita (CARVALHO, 2003).

O fruto da canafístula é um legume do tipo vagem, indeiscente e samaróide com superfície glabra, apresenta coloração castanho-escuro, geralmente no fruto é encontrado de uma a duas sementes (Figura 2 C). A dispersão das sementes é feita através da anemocoria. As sementes são estenospermicas, com superfície glabra e coloração amarela clara, nervação peninérvea, anastomosada (Figura 2 D) (REITZ; KLEIN; REIS, 1978, DONADIO; DEMATTÊ, 2000).

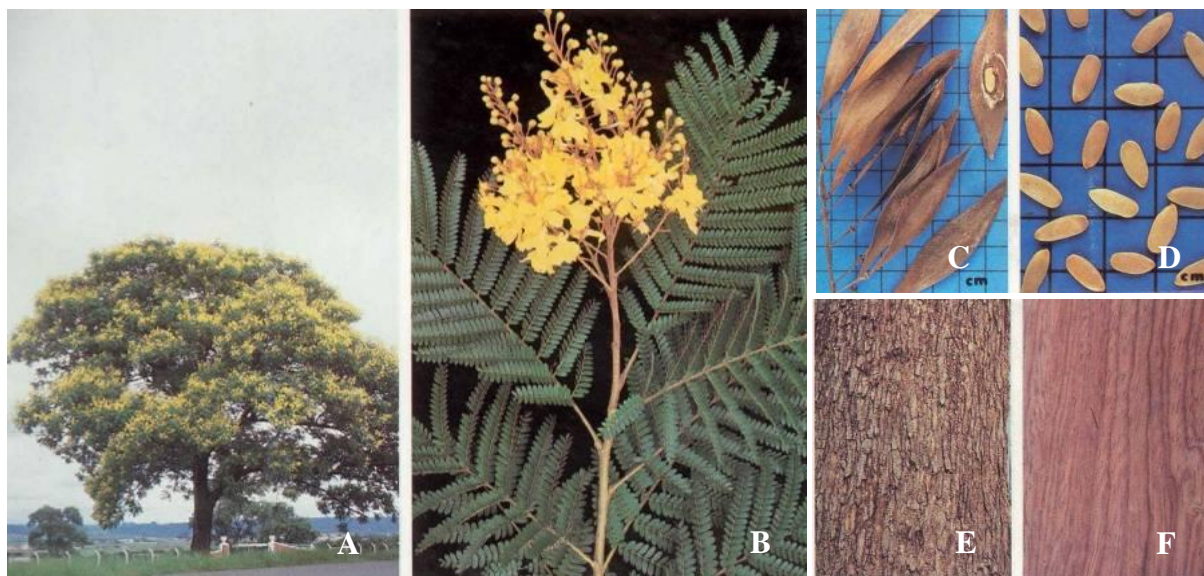


Figura 2. *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. (A) Exemplar da árvore; (B) Folhas e flores; (C) Fruto; (D) Sementes; (E) Casca; (F) Madeira. Fonte: Adaptado de Lorenzi (2002).

A canafístula é uma espécie heliófila, caducifólia, rústica, de crescimento rápido, apresenta tolerância e resistência ao clima frio, é uma espécie secundária, mas com algumas características de pioneira, a qual se faz presente na formação das capoeiras. Em florestas nativas onde há sua ocorrência, geralmente, existem poucos indivíduos, porém, esses são sempre de grande porte, quase sempre ocupando o dossel dominante na floresta primária (CARVALHO, 2003).

A espécie ocupa principalmente as clareiras e as borda das matas, devido a maior incidência da luz solar, sendo amplamente utilizada para recuperação de áreas degradadas, área de preservação permanente, paisagismo e arborização de ruas, parques e praças, pois

propicia ótima sombra e beleza além de favorecer as espécies de sombra ao seu desenvolvimento, auxiliando na formação da floresta (REITZ; KLEIN; REIS, 1978; LORENZI, 2002).

O plantio da canafístula é recomendado a pleno sol, apresentando alta sobrevivência (cerca de 80%), contudo, com heterogeneidade no crescimento em altura, diâmetro e forma (EMBRAPA, 2007).

Poucos estudos foram encontrados quanto ao aparecimento de doenças e ataque de pragas, sendo que as pragas encontradas foram formigas cortadeiras (gêneros *Atta* e *Acromyrmex*) e o besouro serrador (*Oncideres* spp.). O controle para estes pode ser feito de modo químico (iscas granuladas) e físico (corte e queima dos galhos atacados por besouro) (SOUZA et al., 2012).

Comparando a canafístula às diversas espécies florestais nativas, esta apresenta um crescimento que pode ser considerado relativamente rápido, porém sendo ainda necessários estudos que visem maximizar a produção florestal da espécie (BERTOLINI; DEBASTIANI; BRUN, 2015). A Embrapa Floresta classificou como sendo uma espécie madeireira promissora, apresentando um crescimento rápido e produtividade máxima observada de 19,60 m³/ha/ano (REVISTA DA MADEIRA, 2007).

É considerada uma espécie importante para programas de reflorestamento em razão do comprovado valor econômico da madeira e do aceitável desempenho silvicultural (INOUE et al., 1984).

Ruchel (2003), em estudo sobre a evolução do uso e valorização de espécies madeireiras, da floresta estacional decidual do Alto Uruguai, classificou a canafístula como uma das 15 árvores de valor no setor madeireiro com maior densidade na floresta, sendo uma das dezesseis espécies de madeira com maior uso. Esse pesquisador também a classificou como uma espécie dentre as oito de maior classe de valor para a madeira serrada.

A canafístula é considerada uma espécie promissora para produção de madeira no Centro-Sul do Brasil. Possui densidade moderadamente alta em torno de 0,80 g/cm³ (IPT, 1978), com bom poder calorífico (4.755 kcal/kg), tendo ainda a presença de tanino na casca com teores de 6% a 8% (CARVALHO, 1998; REITZ; KLEIN; REIS, 1978).

Essas características de crescimento aliadas às boas propriedades tecnológicas da madeira justificam a realização de estudos sobre a viabilidade do emprego da madeira de canafístula (MODES et al., 2012).

3.3. Qualidade do fuste

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 consequentemente 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.

3.4. 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 a 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.

Trugilho et al. (2007) destacam a necessidade da avaliação da madeira para definir a sua melhor aplicação, fornecendo produtos adequados e de qualidade que o mercado exige. Por exemplo, as indústrias celulósicas buscam melhorias nas características anatômicas, físicas e químicas da madeira (BARRICHELO; BRITO; MIGLIORINI, 1983; HILLIS, 1972). Já para fins energéticos destacam-se as características químicas e físicas da madeira.

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; HASELEIN et al., 2004).

Zobel (1981) afirma que a formação da madeira é um processo biológico que ocorre dentro da árvore viva, enquanto a qualidade da madeira é uma avaliação de uma peça isolada de madeira, de uma parte da árvore ou de um derivado de madeira. Dessa forma, a qualidade da madeira somente pode ser alterada durante o seu processo de formação.

Os fatores que podem comprometer as propriedades da madeira são inerentes à própria madeira e ao ambiente em que a árvore se desenvolve (LATORRACA; ALBURQUERQUE, 2000). Portanto, a qualidade da madeira é o resultado da interação de fatores ambientais como espaçamento de plantio, tratamentos 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).

Através do melhoramento genético, tratamentos silviculturais e o manejo da floresta pode-se melhorar ou minimizar fatores relacionados à qualidade, produzindo dessa maneira madeira de boa qualidade, principalmente, para indústria à base de produtos sólidos (ZOBEL, 1981).

Neste contexto, atualmente, o objetivo do melhoramento florestal não se restringe a apenas obtenção de florestas com alta produção. A produtividade também deve incorporar outros índices de qualidade da madeira que propiciem a geração de produtos industrializados com alto conteúdo tecnológico e, portanto, de maior valor comercial (RODRIGUES et al 2008).

Deste modo, o estudo e a consequente melhoria da qualidade da madeira é 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).

3.4.1. Tensões de crescimento

Lima et al. (2004) afirmam que as tensões de crescimento são forças que agem naturalmente sobre os tecidos das árvores, tem como finalidade a sustentação e estabilidade da árvore. As tensões de crescimento são esforços mecânicos gerados durante o crescimento da árvore em resposta a agentes ambientais (luz, vento e inclinação do terreno) e agentes silviculturais (desbaste, poda e densidade) (SOUZA, 2002).

Carvalho et al (2010) fazem uma analogia entre as tensões de crescimento e as colunas de concreto, onde as tensões na árvore seriam equivalente as armaduras de aço em uma coluna de concreto, proporcionando rigidez estrutural, sendo essencial para que os fustes das árvores não se quebrem facilmente quando submetidas a esforços laterais.

As tensões de crescimento encontram-se em equilíbrio quando a árvore está em pé, porém quando esta é cortada, ocorrem imediatamente deformações e rachaduras nos topos das toras, em função da modificação do estado de equilíbrio que existia durante o crescimento (FERRAND, 1983).

Esses efeitos causados pelas tensões de crescimento, defeitos de rachaduras de topo e empenamentos, observados na madeira após o abate das árvores, são fatores comprometedores da qualidade da madeira e são considerados a principal razão da diminuição do rendimento de serrarias no processamento de toras (DELUCIS, 2014). Os defeitos pós desdobro são gerados pelas tensões de crescimento e contribuem com a depreciação do valor da madeira, limitando a sua utilização para a produção de madeira serrada de qualidade (TRUGILHO, 2006).

A origem das tensões de crescimento podem ser fatores genéticos e ambientais e o seu efeito depende da interação genótipo x ambiente (CARDOSO JÚNIOR, 2005). Fatores externos, ambientais ou silviculturais, influenciam a intensidade das tensões de crescimento, como por exemplo: a taxa de crescimento, a desrama, o desbaste, o espaçamento, o tipo de solo e os ventos (DEL MENEZZI, 1999).

Souza (2002) avaliando clones de híbridos de *Eucalyptus* obteve altos valores de herdabilidade (94,3%), indicando que a tensão de crescimento é uma característica altamente herdável, podendo ser incluída nos programas de melhoramento genético.

Beltrame et al. (2012) observaram fortes relações entre as tensões de crescimento com a idade de plantio, o tamanho da tora, a taxa de crescimento e a inclinação do fuste, além dos fatores genéticos.

Lima; Garcia; Nogueira (2000) observaram que a intensidade de desbastes é um dos fatores que influencia na intensidade das tensões de crescimento em uma mesma classe diamétrica. Quando se efetua o desbaste, menor será a competição entre as árvores, estas crescem livremente e em ritmo acelerado, sendo obtida madeira mais homogênea e estável. Acredita-se que o nível de tensão de crescimento possa ser minimizado pelas condições de crescimento e distribuição espacial uniforme da população. A tensão gerada nos troncos das árvores seria minimizada pela não necessidade de reorientação de suas copas, em um plantio onde o espaço vital da árvore seja adequado. Entretanto, Kuble (1988) afirma que se os desbastes rigorosos induzirem novas orientações das copas o problema das tensões de crescimento poderá ser agravado. O ideal é que a população seja desbastada levemente, freqüentemente e uniformemente.

O método mais utilizado para a avaliação indireta das tensões de crescimento é o do extensômetro (TRUGILHO, 2005; SOUZA, 2006). Este método foi desenvolvido pelo Centre de Cooperation Internationale em Recherche Agronomique Pour Le Développement – CIRAD-Fôret. Segundo Valencia et al. (2011) a deformação residual longitudinal (DRL), obtida por extensometria é um parâmetro que pode ser utilizado para selecionar árvores vivas menos propensas a incidência de rachaduras e toras que, provavelmente, obterão maior rendimento em serrarias.

3.4.2. Densidade da madeira

A densidade da madeira é definida pela relação entre a massa (grama ou quilograma) e o seu volume (cm^3 ou m^3). A densidade é o resultado de uma complexa combinação dos seus constituintes anatômicos (SILVA et al, 2004). Durlo (1991) afirma que, de maneira geral, o valor obtido indica a quantidade aproximada de massa lenhosa ou, de modo inverso, o volume de espaços vazios existentes na madeira.

A densidade da madeira, por ser de fácil determinação, possuir alta herdabilidade e se relacionar com diversas outras propriedades, é a mais analisada nos laboratórios de tecnologia da madeira e de produtos florestais (ROCHA, 1983; DECOUX; VARCIN; LEBAN, 2004). Considerada um dos mais importantes índices de qualidade da madeira, a densidade afeta a higroscopicidade, a retratibilidade e as propriedades de resistência mecânica, elétricas e acústicas (PANSIN; ZEEUW, 1980; LOSCHI NETO et al., 2008). A densidade influencia praticamente todos os processos industriais, bem como a qualidade do produto final, nos quais a madeira se faz presente (BRITO; BARRICHELO, 1977; QUEIROZ et al., 2004).

Geralmente, à medida que aumenta a densidade, aumenta a resistência mecânica e durabilidade natural da madeira, em sentido inverso, diminuem a permeabilidade a soluções preservantes, acabamentos e trabalhabilidade (CARDIN, 2011).

No entanto, é importante ressaltar que a densidade não deve ser considerada o único parâmetro na qualidade visando a indicação para o uso final da madeira, pois não indica, de forma direta e conclusiva, valores das propriedades mecânicas, dimensões de fibras, poder calorífico, composição química ou existência de defeitos internos (ENGLERT, 1966). Dessa forma, a densidade, quando analisada de forma avulsa, não representa um bom e seguro

parâmetro para uma definição de usos, ela é uma boa indicadora de qualidade da madeira, porém, outros parâmetros de qualidade devem ser analisados em conjunto (OLIVEIRA et al., 1990).

3.4.3. Variação radial da madeira

A madeira é um material altamente heterogêneo, ocorrendo variações entre espécies e, dentro de uma mesma espécie, entre árvores e até em nível celular, no sentido longitudinal e radial do tronco, entre cerne e alburno, entre madeira juvenil e adulta e dentro do mesmo anel de crescimento, entre lenho inicial e lenho tardio (TRUGILHO; SILVA, 2004).

Essa variabilidade é devido ao tipo, forma e organização celular da madeira (PANSIN; ZEEUW, 1980). A madeira sofre variações anatômicas relacionada à espessura da parede celular, às dimensões e à quantidade proporcional de fibras, traqueídeos, vasos e parênquima, em função do genótipo, da idade da árvore e a fatores ambientais (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968).

A diferença nas propriedades da madeira no sentido radial é a mais importante fonte de variação no tronco, sendo determinada, principalmente, pela presença da madeira juvenil e adulta, pela sua proporção relativa no tronco e pelas suas características físico-químicas e anatômicas (PÁDUA, 2009). A densidade, o comprimento dos traqueídeos, a espessura da parede celular, o conteúdo de celulose, a resistência e a rigidez são maiores na madeira adulta, quando comparados com a madeira juvenil (BENDTSEN, 1978; SENIT; BENDTESEN; GALLIGAN 1985).

Dadswell (1972), Zobel; Bujtenen (1989), citados por Silva (2002) e Pinto (2007), afirmaram que nas camadas mais próximas da medula, o cerne é formado pela madeira juvenil, com características muito diferentes das camadas próximas da casca, que formam a madeira adulta. A formação da madeira juvenil implica um ritmo de crescimento mais acentuado e resulta em material de propriedades mecânicas inferior.

Panshin; De Zeeuw (1980) verificaram possíveis padrões de variação radial da densidade no lenho de árvores: crescente da medula para a casca; alta na medula, decrescendo nos primeiros anéis e aumentando ao máximo próximo a casca; densidade aumentada próximo à medula, depois permanecendo mais ou menos constante, podendo decrescer próximo a casca; decrescente da medula para casca.

Várias pesquisas estão sendo realizadas para a análise da variação radial das espécies florestais, por exemplo, Silva et al (2004), Foelkel; Mora; Menochelli (1992), Silva (2002) em seus estudos verificaram que para a maioria das espécies do gênero *Eucalyptus* o padrão de variação da densidade é crescente no sentido medula-casca.

Na caracterização da madeira, a determinação de sua densidade e principalmente a sua variação dentro da árvore, na direção radial, é fundamental como subsídio ao entendimento de sua qualidade. Visto que, madeira mais homogênea se comporta melhor nas operações de processamento e refletindo maior uniformidade nas demais propriedades tecnológicas (OLIVEIRA; HELLMEISTER; TOMAZELLO FILHO, 2005).

3.5. Métodos não destrutivos para avaliação da madeira

Segundo Ross; Brashaw; Pellerin (1998) 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 comparada aos métodos destrutivos, permitindo 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).

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 como, por exemplo: o extensômetro, resistógrafo e a densitometria de raios X. Diversas pesquisas têm sido desenvolvidas com o objetivo de prever propriedades da madeira por meio de métodos não destrutivos, pode-se citar como exemplo 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); Surdi (2014) e Vidaurre (2015).

3.5.1. Extensômetro

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 o seu uso como produto sólido (FLOREZ, 2012).

O extensômetro é constituído de um relógio comparador onde é registrada a liberação de tensão ao longo do teste. O equipamento é fixado no tronco da árvore após a retirada de uma porção da casca. Através de dois pinos inseridos na direção da grã, com distância entre eles de 45 mm no sentido longitudinal do fuste, e após a realização com um arco de pua de um orifício de 20 mm de diâmetro entre os pinos, ocorre a movimentação de uma porção da madeira que é registrada no relógio do aparelho (GONÇALVES, 2009).

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.

3.5.2. Resistógrafo

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 por um decaimento do valor da densidade, também são observados as variações dentro dos anéis de crescimento (GOMES, 2007).

De acordo com Rinn; Schweingruber; Schar (1996), o princípio de funcionamento do resistógrafo consiste na perfuração de uma broca de 3 mm de diâmetro na madeira, a haste 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 teoria, quanto mais denso o material maior a dificuldade de perfuração pela broca e, portanto, maior será o valor da amplitude.

Alves (2012) ressalta que a utilização do resistógrafo mostra ser sensível a variação do teor de umidade da árvore. Dessa forma, é necessário controlar as condições de ambientes 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.

3.5.3. Densitometria de raios X

A técnica de densitometria de raios X é uma das mais avançadas para avaliar as variações de densidade em intervalos micrométricos, aferição impossível pelo método gravimétrico convencional, obtendo-se gráficos do padrão de variação radial da densidade, assim como, a análise das variações intra e inter dos anéis de crescimento, permitindo ainda a avaliação do desenvolvimento das árvores e observando as que produzem madeira com densidade mais uniforme ou mais elevada (OLIVEIRA,1997; TOMAZELLO FILHO; CHAGAS; ROQUE, 2005)

Esta metodologia tem sido apontada como uma importante ferramenta de avaliação detalhada para avaliar os efeitos dos tratamentos silviculturais na qualidade da madeira, assim como para explicar outros resultados ligados à caracterização tecnológica da madeira (SILVA et al, 2004).

Segundo Castro; Tomazello Filho; Surdi (2014) a utilização de métodos de determinação da densidade do lenho por técnicas que utilizam a radiação eletromagnética, como a microdensitometria de raios X, iniciou-se na França por Polge (1963). No Brasil, a metodologia de densitometria de raios X foi implementada por Amaral (1994). Naquela época, amostras do lenho e a cunha de calibração (acetato de celulose) de densidade conhecida, eram dispostas sobre filmes radiográficos e, em seguida, sob fonte de raios X eram revelados e o filme radiográfico analisado em microdensitômetro; posteriormente, os valores de densidade óptica eram transformados em densidade aparente do lenho (HUGHES; SARDINHA, 1975).

Atualmente, com o desenvolvimento da tecnologia o método consiste na incidência de raios X colimados em amostras do lenho de árvores, com as vantagens de dispensar o filme radiográfico, prover a autocalibração e o processamento automático dos dados pontuais de densidade aparente do lenho a cada 50 μm (LIN et al., 2007; FERREIRA; TOMAZELLO FILHO, 2009; ARIZAPANA-ALMOCINAD, 2013).

A utilização da densitometria de raios X do lenho das árvores permite diversas aplicações, como por exemplo, estudos da relação da genética, fertilização, irrigação, desrama, ataque de fungos e insetos, fatores climáticos e do solo, com a estrutura e qualidade da madeira (TOMAZELLO FILHO; CHAGAS; ROQUE, 2005).

Alguns estudos estão sendo realizados sobre a aplicação da densitometria de raios X em espécies tropicais, muitos visando à delimitação e demarcação dos limites dos anéis de crescimento, e também a análise da variação radial da densidade aparente no lenho inicial e tardio, comprovando a eficácia da técnica (ALVARADO, 2009; CHAGAS, 2009; LOBÃO et al., 2012).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área de estudo

O estudo foi realizado no município de Descalvado, no estado de São Paulo, localizado nas seguintes coordenadas geográficas: 21°54'14"S e 47°37'12"O (Figura 3). Descalvado encontra-se a uma altitude de 685 m (CIDADE-BRASIL, 2016). Segundo a classificação climática de Koeppen, o município é classificado como Cwa, possui uma temperatura média de 21,4 °C e precipitação média de 1508,7 mm (CEPAGRI, 2016). A região caracteriza-se por verão chuvoso, com média pluviométrica de 211 mm e inverno seco, com media de 31,8 mm. O balanço hídrico apresenta um déficit hídrico nos meses de abril a outubro (NURMA, 2016) (Figura 4).



Figura 3. Área de estudo no município de Descalvado, SP. Fonte: ACESSA SP (2016)

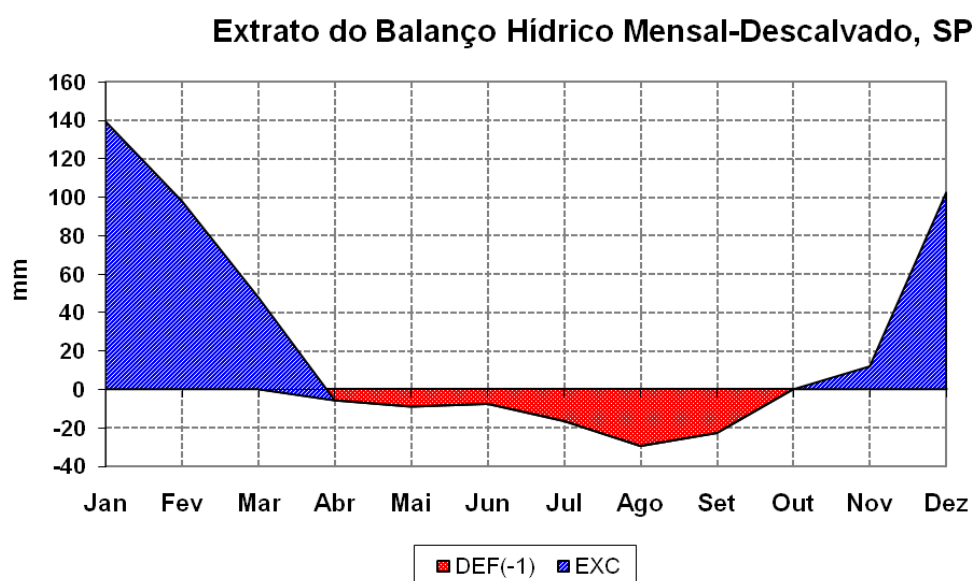


Figura 4. Balanço hídrico do município de Descalvado, SP. Fonte: Nurma (2016)

As árvores que foram objeto de estudo nesse trabalho estão localizadas na Fazenda Santana do Monte Alegre, onde foi realizado o plantio misto de espécies nativas, no ano de 2001, com espaçamento 3 m x 2 m. Não foi realizada adubação no local e as avaliações nas árvores foram feitas quando as mesmas estavam com 14 anos de idade.

Os indivíduos da espécie canafístula estão localizados em três diferentes sítios, sendo a maior distância entre os sítios de número 1 e 3 (3 km) (Figura 5).

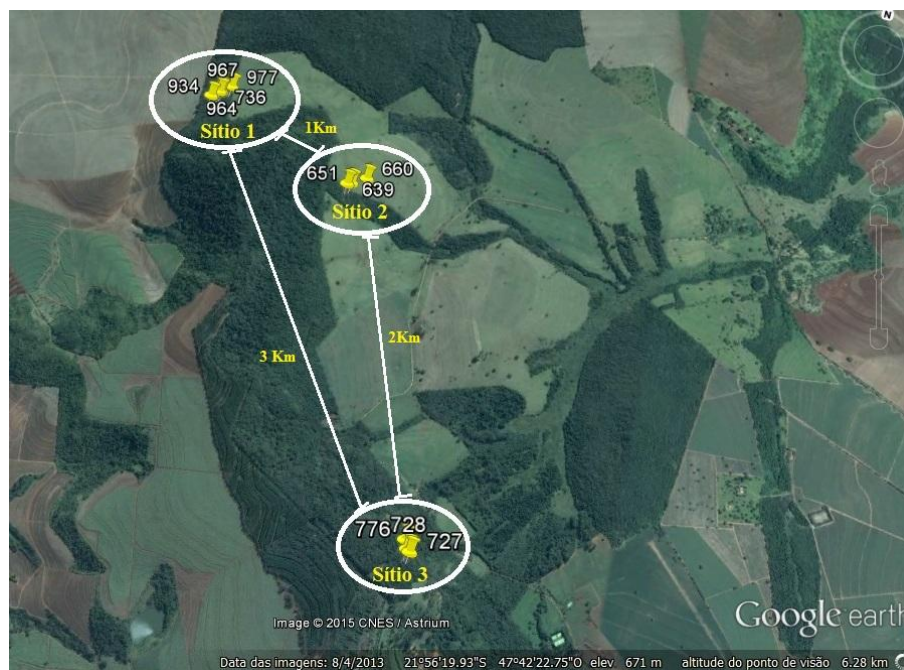


Figura 5. Vista aérea dos três diferentes sítios e das árvores estudadas

4.2. Análise das características silviculturais

Foram avaliadas 18 árvores de canafístula, aos 14 anos de idade. Silva (2013) realizou inventário do local e a partir dessas informações os indivíduos foram localizados no campo e realizadas as avaliações silviculturais.

A circunferência à altura do peito (CAP, 1,30 m do solo) foi obtida utilizando uma fita métrica. Esses dados foram transformados em diâmetro à altura do peito (DAP).

Para avaliação do crescimento da espécie, foram calculados o incremento médio anual (IMA), dividindo o DAP pela idade da árvore, e o incremento periódico anual em diâmetro ($IPA_{2012-2015}$) a partir de duas medições: no ano de 2012 e em 2015. Os dados do ano de 2012 foram obtidos do levantamento realizado por Silva (2013). A equação 1 foi utilizada para o cálculo do $IPA_{2012-2015}$.

$$IPA_{2012-2015} = \frac{df - di}{P} \quad \text{Equação 1}$$

Legenda: IPA_d = Incremento periódico anual em diâmetro (cm/ano); df = DAP no final do período de crescimento avaliado (cm); di = DAP no início do período de crescimento avaliado (cm); P = intervalo de medição (anos).

A avaliação da qualidade do fuste foi realizada através de análise visual, as árvores foram qualificadas em três classes, seguindo os critérios adaptados do ICMBio (2009), onde:

1. Bom – Fuste reto, com aproveitamento comercial acima de 90% (Figura 6 A);
2. Regular – Fuste com leve tortuosidade, ou bifurcado e reto com aproveitamento comercial entre 50% a 90% (Figura 6 B e C);

3. Ruim – Fuste tortuoso, oco ou defeituoso, com aproveitamento comercial inferior a 50%.



Figura 6. Qualidade do fuste. (A) Fuste reto, de boa qualidade; (B) Fuste levemente tortuoso, qualidade regular; (C) Fuste com bifurcação, qualidade regular.

4.3. Análise química do solo

Foram coletadas sete amostras de solo (0-20 cm de profundidade), nas entrelinhas do plantio, sendo três amostras no sítio 1, duas amostras no sítio 2 e 3. As amostras foram secas ao ar, peneiradas em malha de 2 mm e realizada a análise química no Laboratório de Gênese e Classificação dos Solos, no Departamento de Solos, do Instituto de Agronomia, da UFRRJ. Sendo determinados os teores de Ca, Mg, Al, H+Al, Na, K (cmolc/kg), P (MG/kg) e matéria orgânica (g/kg). Após as análises obteve-se a média de fertilidade do solo para cada sítio.

4.4. Caracterização macroscópica da madeira

Foram retiradas amostras diametrais no diâmetro à altura do peito (DAP, 1,30 m do solo) com a sonda de Pressler, as quais foram coladas em suporte de madeira e efetuou-se o polimento da seção transversal, com lixas de diferentes granulometria, para realçar as características anatômicas. As amostras foram sopradas com ar comprimido para a remoção do pó de lixa.

A análise macroscópica foi realizada a olho nu e com auxílio de lupa (lente de 10 x) no plano transversal, realizada de acordo com as Normas de Procedimentos em Estudos de Anatomia de Madeira do IBAMA (1991).

4.5. Avaliação da deformação residual longitudinal (DRL)

O ensaio de medição da DRL em cada árvore, extensometria, teve início com a retirada de uma porção da casca com o auxílio de um formão (Figura 7 A), neste momento foi também mensurada a espessura da casca através de um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm. O descascamento foi feito até obtenção de uma janela em formato retangular para fixação de dois pinos metálicos, distantes 45 mm entre si, dispostos no sentido longitudinal do fuste (Figura 7 C), sendo fixados com o auxílio de um gabarito (Figura 7 B). Posteriormente, o extensômetro foi apoiado no pino superior e o relógio zerado (Figura 7 D), em seguida foi feita a perfuração entre os pinos metálicos com auxílio de um arco de pua que possui broca de 20 mm (Figura 7 E). Após a perfuração, as tensões internas da árvore são liberadas e registradas pelo relógio comparador acoplado ao pino metálico inferior, que se distancia do superior.

As medições da deformação residual longitudinal (DRL) foram realizadas a altura do DAP (1,30 m) sendo coletada uma leitura por árvore, no sentido norte-sul.

As mensurações foram executadas com ausência de ventos, visto que a movimentação do ar faz com que as forças internas de sustentação da árvore oscilem e conseqüentemente a indicação do relógio oscila muito, prejudicando a leitura.



Figura 7. Mensuração da deformação residual longitudinal (DRL). (A) Retirada da casca; (B) Fixação pinos metálicos com gabarito; (C) Pinos metálicos fixados no lenho; (D) Extensômetro apoiado no pino metálico; (E) Liberação da tensão de crescimento através do orifício feito com o arco de pua.

4.6. Determinação da densidade básica pelo método gravimétrico

A determinação da densidade básica foi realizada em quatro amostras da seção transversal do lenho da canafístula (Figura 8 A), as mesmas amostras foram utilizadas na determinação da densidade aparente através da densitometria de raios X.

Segundo a NBR 7190 (ABNT, 1997) a densidade básica é definida pela razão entre a massa seca e o volume saturado (Equação 2). Os corpos-de-prova foram submersos em água para a saturação por um período de 5 dias. Em seguida, as amostras foram colocadas em estufa, a uma temperatura inicial de 40°C, aumentada gradualmente até atingir 103 ± 2°C, esse cuidado foi tomado para evitar rachaduras nas peças. Visto que as suas dimensões eram pequenas uma temperatura alta em um primeiro momento poderia rachá-las.

As amostras foram mantidas na estufa até a madeira alcançar a condição anidra. Ao decorrer de todo o processo as amostras foram pesadas utilizando-se balança digital (0,01g de precisão) (Figura 8 B) e suas dimensões mensuradas com paquímetro digital (0,01 cm de precisão). Com esses dados calculou-se a densidade básica de acordo com a Equação 2.

$$\rho_b = \frac{m_{se}}{V_{sat}} \quad \text{Equação 2}$$

Onde: ρ_b - densidade básica (g/cm³); m_{se} - massa seca da madeira (g); V_{sat} - volume da madeira saturada (cm³);



Figura 8. Determinação da densidade básica pelo método gravimétrico. (A) Amostras analisadas; (B) Amostras pesadas na balança digital.

4.7. Determinação da densidade aparente pela densitometria de raios X

Foram retiradas amostras diametraais do lenho das 18 árvores de canafístula através da sonda Pressler com 5 mm de diâmetro na altura do peito (1,30 m) (Figura 9 A), sendo extraídas duas amostras de cada árvore, no sentido norte-sul e leste-oeste, totalizando 36 amostras. Estas eram identificadas e acondicionadas em tubo plástico.

No Laboratório de Processamento Mecânico da Madeira (LPM), do Departamento de Produtos Florestais (DPF) no Instituto de Floresta (IF) da UFRRJ, as amostras foram coladas

em suporte de MDF (Figura 9 B), e seccionadas na seção transversal com espessura de 2 mm, através de uma dupla-serra circular paralela (Figura 9 C).

Seguindo a metodologia de Amaral; Tomazello Filho (1998) as amostras foram climatizadas por 24h a 20°C e 60% UR, atingindo o teor de umidade de aproximadamente 12%.

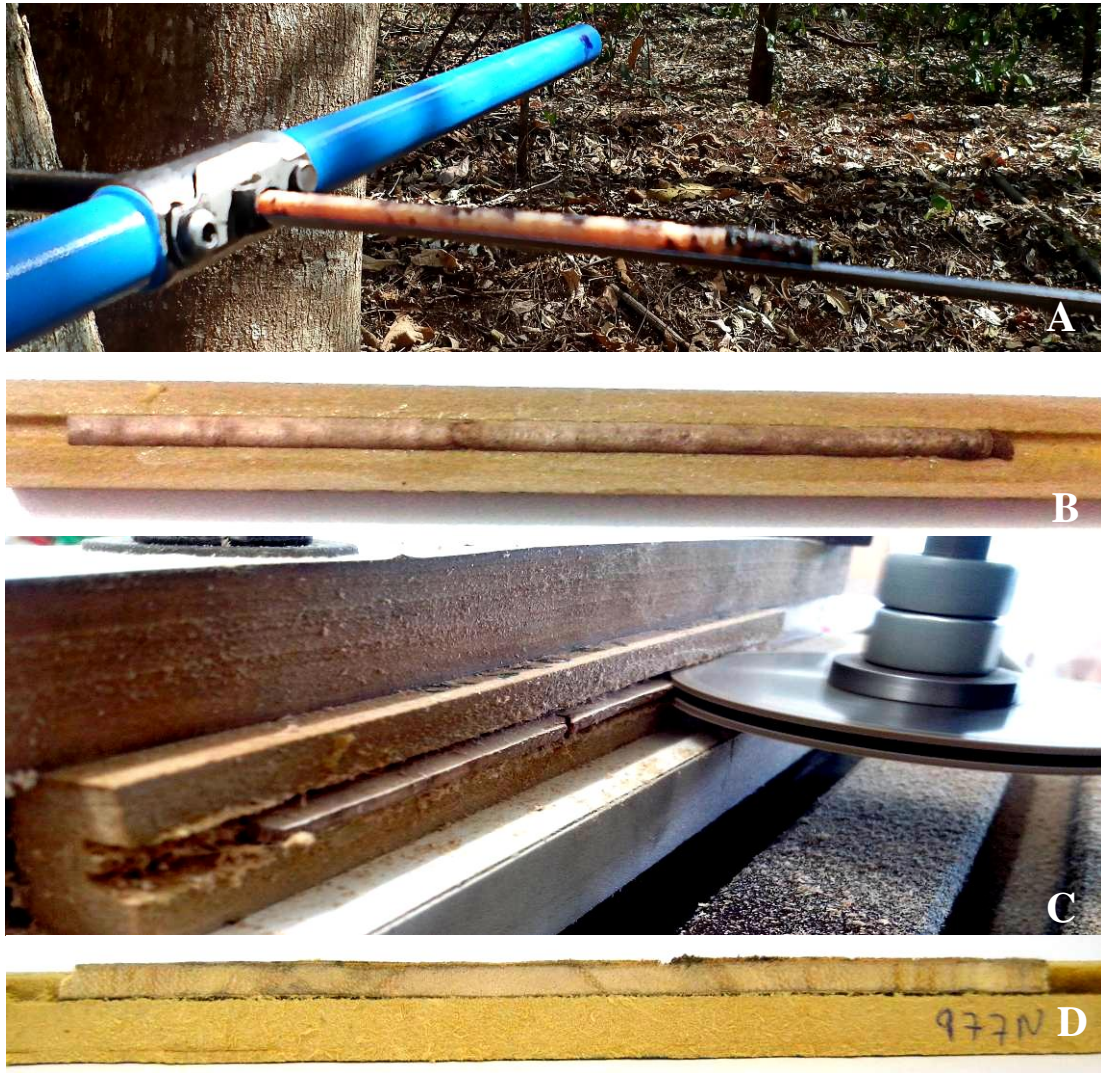


Figura 9. Retirada e preparação da amostra. (A) Extração da amostra diametral do lenho através da sonda de Pressler; (B) Amostra colada em suporte de MDF; (C) Corte da amostra com dupla-serra circular paralela; (D) Amostra seccionada com 2 mm de espessura.

No Laboratório de Anatomia Celular no núcleo de Biotecnologia, do IF/UFRRJ, foram obtidos os perfis de densidade do lenho no equipamento da Quintek Measurement Systems (QMS), modelo QTRS-01X (Figura 10 A).

No software QMS foi realizada a calibração, em seguida a amostra foi inserida no suporte metálico graduado (Figura 10 B) e encaixada no compartimento interno do equipamento (Figura 10 C) para a realização do escaneamento através do feixe de raios X. Simultaneamente, no software QMS o perfil diametral da densidade aparente da amostra foi observada no monitor do computador (Figura 10 D), assim como, a imagem transversal da amostra que estava sendo escaneada.

Após o escaneamento, o software QMS gera um arquivo em DAT, com os valores de densidade aparente a cada 50 μm , em toda extensão da amostra. Através dos dados gerados no arquivo foram feitos os gráficos dos perfis diametrais pelo software Excel. Quando encontradas fissuras na amostra, esses valores de densidade eram eliminados, visto que esse dado subestima o valor real da densidade da madeira. Posteriormente, todas as amostras foram escaneadas no scanner Epson Perfection V700 Photo, com resolução de 1200 dpi (pontos por polegadas), possibilitando visualização detalhada na amostra do lenho.



Figura 10. Determinação da densidade aparente através da densitometria de raios X. (A) Equipamento densitometria de raios X da Quintek Measurement Systems (QMS), modelo QTRS-01X; (B) Amostra no suporte metálico graduado; (C) Encaixe do suporte metálico com a amostra no compartimento interno; (D) Escaneamento da amostra e a visualização na tela do monitor do computador.

4.8. Determinação da densidade aparente a partir do resistógrafo

Foi utilizado o aparelho resistógrafo, da marca Rinntech modelo Rinn-Resistograph 4452S (Figura 11 A), para avaliar a resistência da penetração de uma broca com diâmetro de 3 mm e comprimento até 40 cm na madeira. As mensurações foram realizadas com a casca, à altura de 1,30 m do solo (DAP) (Figura 11 B), sendo realizada a perfuração de casca a casca, sempre que possível, até a broca atravessar completamente o lenho (Figura 11 C), o que é limitado pelo diâmetro da árvore, já que o comprimento máximo de penetração é 40 cm.

Foram efetuadas duas avaliações por árvore no sentido norte-sul e leste-oeste. Ao realizar a mensuração, simultaneamente era impresso o perfil gráfico em escala real, podendo avaliar a fitossanidade da árvore ainda no campo.



Figura 11. Mensuração da densidade através do resistógrafo. (A) Resistógrafo; (B) Mensuração da densidade em árvores vivas através do resistógrafo; (C) Perfuração realizada de casca a casca, broca atravessando o lenho.

No laboratório, os perfis gráficos foram transferidos para o computador e os dados processados através do software Decom 2.33b Scientific, onde foi possível escolher as unidades para o eixo y do perfil gráfico. Neste estudo optou-se trabalhar com as unidades: amplitude (%) que varia de 0-100% e, segundo Lima et al (2007), indica o consumo energético para a broca vencer a resistência à perfuração na madeira em relação a um valor de referência do aparelho; e densidade (kg/m^3). O software utilizado foi a versão mais atual disponibilizado pelo fabricante que permite essa relação com a densidade, sendo necessário para isso a calibração do equipamento.

Para utilizar a densidade como unidade foi necessário efetuar a calibração do resistógrafo, para isso foram utilizadas amostras de madeira (Teca, Pau-Jacaré e Pinus) (Figura 12 A) com densidades diferentes conhecidas, informando a dimensão e a densidade de cada amostra (Figura 12 B). Assim, efetuou-se a correlação para a calibração do resistógrafo. Somente quando uma correlação acima de 80% era encontrada o software tinha a condição necessária para gerar dois coeficientes e a partir destes, o valor de densidade era calculado. No Excel, foram elaborados os perfis gráficos, retirando o valor de espessura da casca, para que obtivesse a densidade somente da madeira.

Vale ressaltar que no processo de calibração foram feitos testes com amostras de madeiras secas e saturadas, gerando coeficientes diferentes nessas duas condições de

umidade, obtendo melhores resultados com aquelas amostras que estavam saturadas, visto que a avaliação do resistógrafo foi efetuada em árvores vivas, portanto encontravam-se saturadas no momento da avaliação, no máximo teor de umidade (MTU).

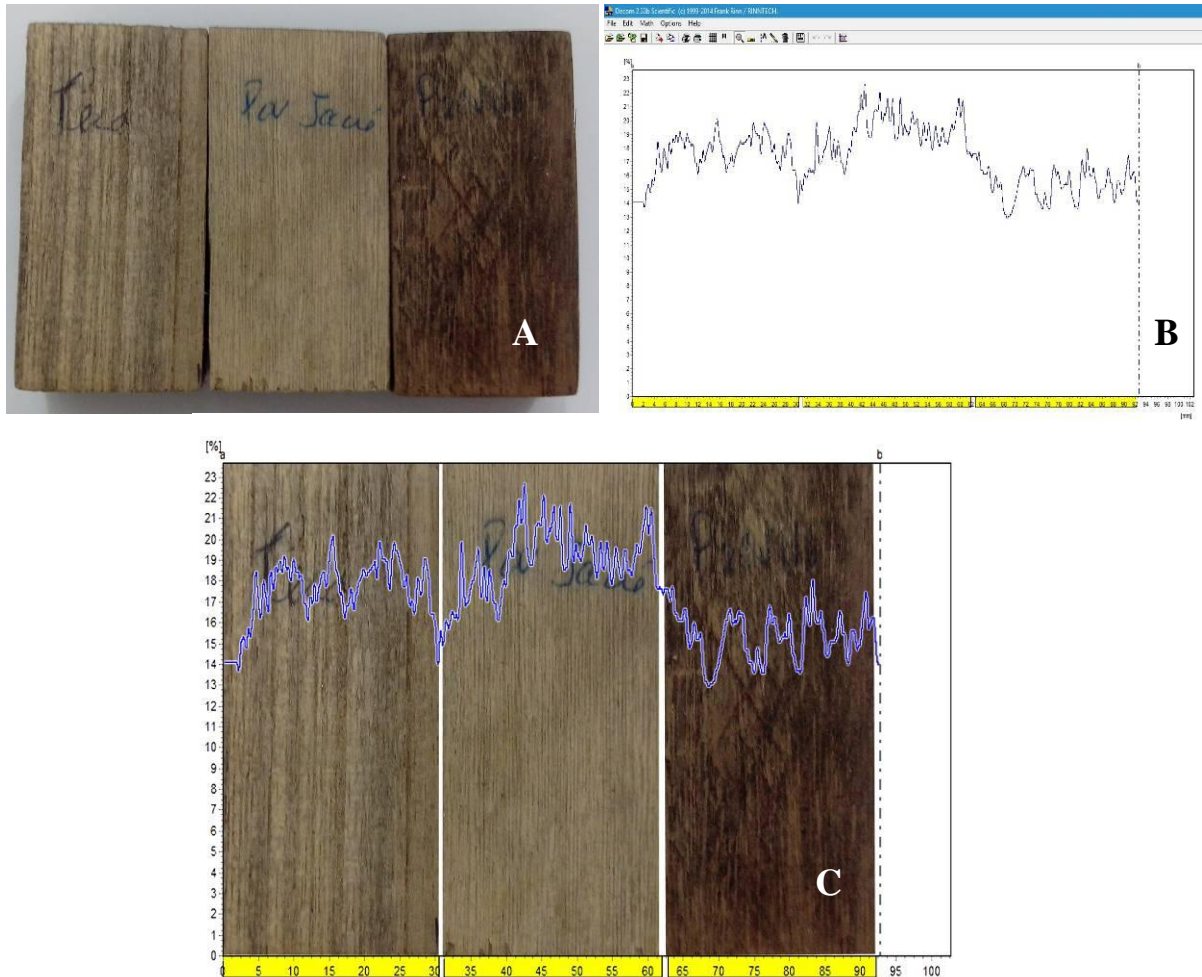


Figura 12. Calibração do resistógrafo para a utilização da densidade como unidade para o eixo y. (A) Amostras de madeira utilizadas para a calibração; (B) Calibração no software Decom; (C) Gráfico plotado na imagem das amostras.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.9. Incremento diamétrico

Na Tabela 1 estão descritos os valores do DAP nos anos de 2012 e 2015, assim como o incremento periódico anual do diâmetro (IPA₂₀₁₂₋₂₀₁₅) e o incremento médio anual (IMA).

Tabela 1. DAP (cm) nos anos de 2012 e 2015, IPA (cm/ano) e IMA (cm/ano).

| Árvore | DAP (cm) | DAP (cm) | IPA ₂₀₁₂₋₂₀₁₅ | IMA |
|--------------|--------------|--------------|--------------------------|-------------|
| | 2012 | 2015 | (cm/ano) | (cm/ano) |
| 964 | 12,70 | 12,80 | 0,032 | 0,914 |
| 987 | 12,73 | 13,37 | 0,212 | 0,955 |
| 976 | 12,38 | 14,01 | 0,541 | 1,000 |
| 934 | 13,11 | 15,60 | 0,828 | 1,114 |
| 973 | 14,43 | 14,45 | 0,006 | 1,032 |
| 977 | 14,71 | 16,23 | 0,509 | 1,160 |
| 963 | 17,19 | 17,83 | 0,212 | 1,273 |
| 639 | 14,26 | 18,14 | 1,294 | 1,296 |
| 651 | 14,26 | 18,46 | 1,401 | 1,319 |
| 975 | 16,30 | 19,03 | 0,912 | 1,360 |
| 967 | 11,94 | 19,42 | 2,493 | 1,387 |
| 981 | 21,96 | 24,19 | 0,743 | 1,728 |
| 986 | 22,15 | 25,15 | 0,997 | 1,796 |
| 660 | 28,23 | 34,06 | 1,942 | 2,433 |
| 736 | 34,97 | 37,24 | 0,758 | 2,660 |
| 728 | 30,81 | 38,83 | 2,675 | 2,774 |
| 776 | 37,93 | 43,93 | 1,999 | 3,138 |
| 727 | 38,17 | 44,56 | 2,133 | 3,183 |
| Média | 20,46 | 23,74 | 1,09 | 1,70 |
| Mínimo | 11,94 | 12,80 | 0,01 | 0,91 |
| Máximo | 38,17 | 44,56 | 2,67 | 3,18 |
| S | 9,36 | 10,92 | 0,84 | 0,78 |
| CV (%) | 45,73 | 45,99 | 77,04 | 45,99 |

Legenda: DAP- Diâmetro a altura do peito (1,30 m); IPA₂₀₁₂₋₂₀₁₅- Incremento periódico anual em diâmetro entre os anos de 2012 a 2015; IMA- Incremento médio anual; S - Desvio padrão; CV- Coeficiente de variação.

Observou-se um DAP médio de 23,74 cm no ano de 2015, um IPA₂₀₁₂₋₂₀₁₅ de 1,09 cm/ano e um IMA de 1,70 cm/ano para a canafístula, aos 14 anos de idade.

Costa et al (2010) avaliando o processo de reabilitação de um trecho de floresta ciliar, em Alegre/ES, verificou que para a espécie *Peltophorum dubium* aos 8 anos de idade, o incremento periódico de diâmetro foi de 1,828 cm/ano.

Ferreira et al, (2007) estudando o crescimento do estrato arbóreo de uma área degradada aos 12,9 anos de idade no município de Itutinga – MG, obtiveram um incremento

médio anual do DAP de 0,7 cm/ano. Enquanto Davide; Faria (1997) analisando a mesma área observaram um incremento diamétrico de 1,0 cm/ano aos 4,8 anos de idade.

Senna et al (2012) observaram um incremento médio de 0,86 cm/ano para a canafístula, aos 24 anos de idade, localizado na Estação Experimental de Luiz Antônio, do Instituto Florestal de São Paulo. Na mesma área de estudo, Sebbenn et al (1999) obtiveram incremento diamétrico de 0,96 cm/ano para canafístula aos 11 anos de idade.

Segundo Gurgel Filho (1975), árvores de canafístula aos 2 anos de idade possuem um incremento em diâmetro de 2,4 cm/ano, já na idade de 21 anos o incremento decresce para 0,9 cm/ano, o autor observou que o crescimento da canafístula até os 7 anos é vigoroso.

O incremento diamétrico geralmente tende a ser maior nos primeiros anos de plantio e decresce com o passar do tempo e com o desenvolvimento das árvores (SENNA et al, 2012). O que é evidenciado no presente estudo pela comparação entre os valores de IPA₂₀₁₂₋₂₀₁₅ (Figura 14) e o IMA (Figura 15), onde o incremento dos últimos 3 anos, representado pelo IPA₂₀₁₂₋₂₀₁₅, é inferior ao incremento médio anual (IMA), baseado na idade da árvore.

Portanto, a média observada para o incremento em diâmetro neste estudo está dentro dos índices esperados para a idade estudada (14 anos) comparada com os dados da literatura.

Após a realização do teste de Tukey a 5% de significância, obteve-se uma diferença significativa entre o DAP médio dos sítios, sendo que o sítio 3 distinguiu-se dos demais, apresentando um valor médio do DAP de 42,44 cm, representado graficamente na Figura 13. O valor médio do IPA₂₀₁₂₋₂₀₁₅ nos sítios, também foi significativamente diferente, sendo o sítio 3 o que apresentou maior valor 2,27 cm/ano (Figura 14). No IMA observou-se uma média significativamente diferente no sítio 3 (Figura 15).

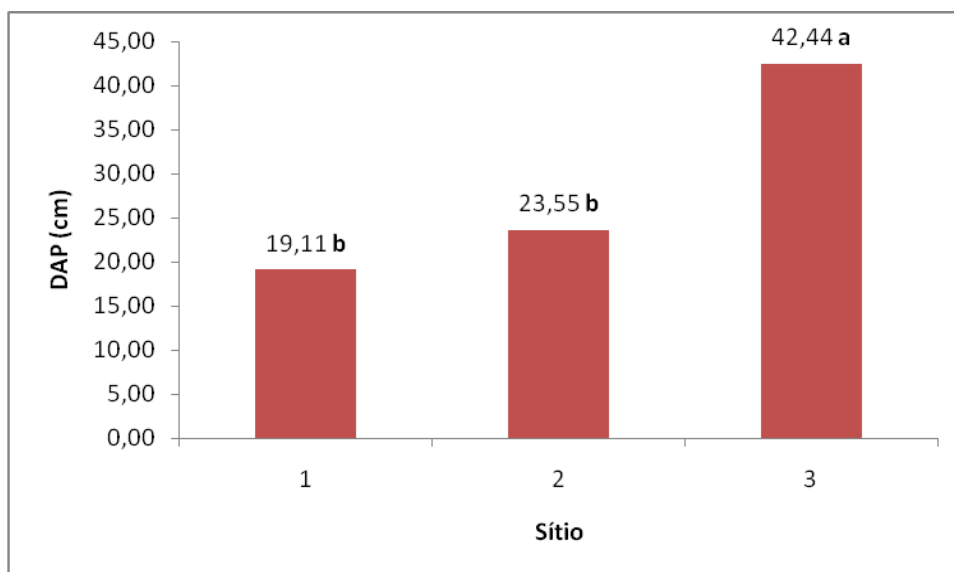


Figura 13. Média do Diâmetro a altura do peito (DAP) nos três sítios estudados. Médias seguidas por letras distintas mostram diferenças significativas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

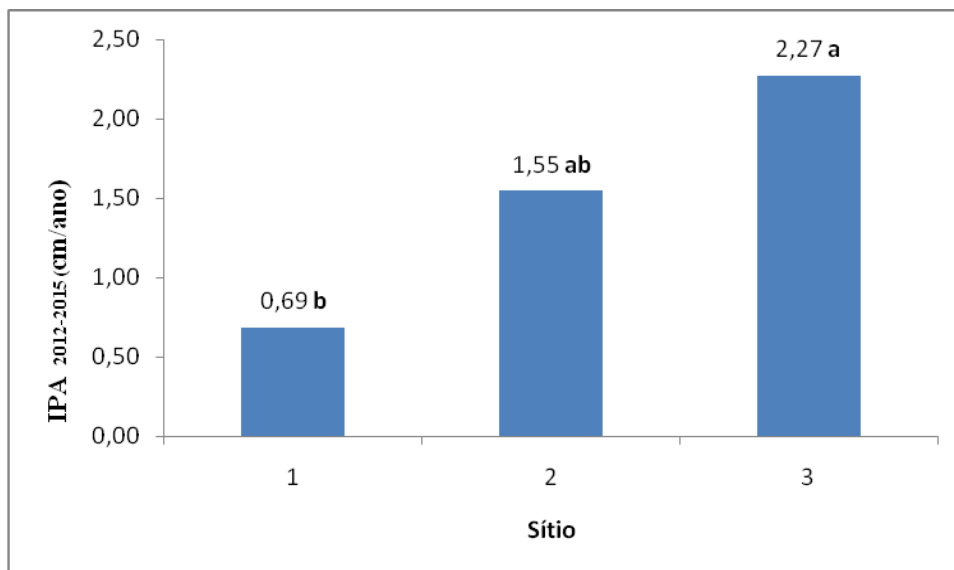


Figura 14. Média do incremento periódico anual em diâmetro (IPA₂₀₁₂₋₂₀₁₅) nos três diferentes sítios. Médias seguidas por letras distintas mostram diferenças significativas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

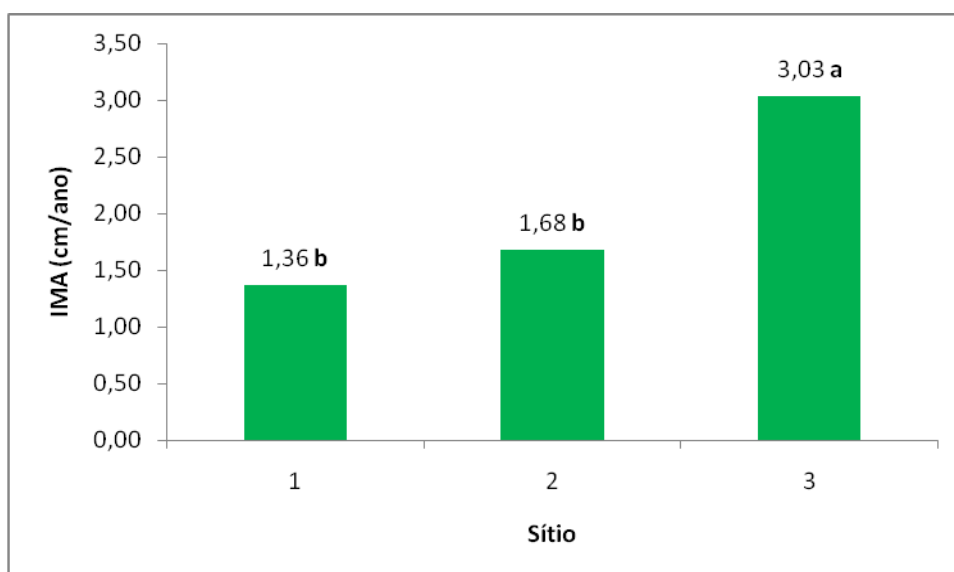


Figura 15. Média do incremento médio anual em diâmetro (IMA) nos três diferentes sítios. Médias seguidas por letras distintas mostram diferenças significativas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

O crescimento das árvores é influenciado pelas características da espécie e a interação com o ambiente (HUSCH; MILLER; BEERS, 1982). As influências ambientais incluem fatores climáticos, pedológicos, características topográficas e competição, a soma desses fatores exprime o conceito de qualidade de habitat ou sítio (PRODAN et al., 1997).

Segundo Silva (2013), o solo possui influência destacada no potencial de produção de madeira de espécies nativas em plantios de restauração florestal, o autor afirma ainda que para

a canafístula, os solos mais adequados para o seu desenvolvimento são aqueles que possuem um bom teor de argila e ricos em magnésio.

A canafístula é uma espécie exigente em qualidade do solo, se desenvolvendo melhor em solos de boas condições hídricas (úmidos), mas sem excesso de água e prefere terrenos vermelhos e argilosos das margens dos rios (SALVADOR, 1989).

Em estudos com plantios experimentais a canafístula apresenta um crescimento melhor em solos de fertilidade química média a alta, bem drenados e com textura de franca a argilosa; não tolerando solos rasos, pedregosos ou demasiadamente úmidos (CARVALHO, 1994).

A canafístula apresenta crescimento rápido, mas ao mesmo tempo exige bastante nutrientes do solo, confirmando a sua exigência por solos férteis e com boas condições hídricas (VENTURIN et al., 1999).

4.10. Análises do solo

Pela análise química do solo (Tabela 2), o sítio 3 apresentou maiores teores de Mg, Ca e matéria orgânica comparado aos demais sítios. Obteve-se uma correlação significativa e positiva ($r = 0,80$) entre os teores de Mg e o DAP.

Tabela 2. Análise química das amostras de solo dos três sítios estudados.

| Sítio | Ca+Mg | Ca | Mg | Al | H+Al | Na | K | P | Matéria orgânica |
|-------|--------------------|------|------|------|------|------|------|-------|------------------|
| | -----cmolc/kg----- | | | | | | | mg/kg | g/kg |
| 1 | 5,40 | 3,97 | 1,43 | 0,63 | 1,32 | 0,03 | 0,33 | 10,69 | 6,63 |
| 2 | 4,80 | 3,70 | 1,10 | 0,16 | 2,06 | 0,03 | 0,15 | 37,70 | 8,60 |
| 3 | 12,55 | 8,45 | 4,10 | 0,18 | 1,90 | 0,05 | 0,25 | 5,45 | 13,64 |

Venturin et al. (1999) estudando as exigências nutricionais no desenvolvimento inicial de mudas de canafístula observaram que o Mg é um elemento limitante ao crescimento das plantas, os autores afirmam que a aplicação de Ca promove um efeito significativo sobre o crescimento das mudas de canafístula, concluindo ainda que, as omissões de K, Ca e Mg afetam a absorção de S.

Observa-se na

Tabela 2 que o sítio 2 foi o que apresentou o maior nível de P (37,70 mg/kg). Cruz et al (2011), avaliando o efeito dos macronutrientes na produção de canafístula verificou que o P foi o nutriente que promoveu mais efeitos significativos no crescimento e qualidade das mudas de canafístula, e a aplicação de Mg favoreceu o crescimento. Para as árvores de canafístula avaliadas, percebeu-se que os níveis de Ca e Mg no solo foram mais expressivos para o desenvolvimento do que o elemento P. Portanto, Mg e Ca foram considerados limitantes para seu crescimento.

A canafístula tem um incremento de diâmetro maior em solos que possuem maiores teores de Mg e Ca. Neste contexto, o sítio 3 foi o que apresentou melhores condições de crescimento para as árvores, visto que o valor de IPA₂₀₁₂₋₂₀₁₅ foi de 2,27 cm/ano, superior aos demais sítios. Em relação ao aspecto de fertilidade do solo, nesse sítio foram observados maiores níveis de Ca, Mg e matéria orgânica, elementos esses que atendem a exigência nutricional da espécie.

4.11. Qualidade do fuste

Das 18 árvores estudadas, 88,89% apresentaram fuste reto e em 16,7% dos indivíduos foi observada presença de bifurcação com no máximo dois fustes. Ainda quanto a qualidade do fuste, 22,2% foram classificados como regular e 77,8% possuía boa qualidade, conforme descrito na

Figura 16.

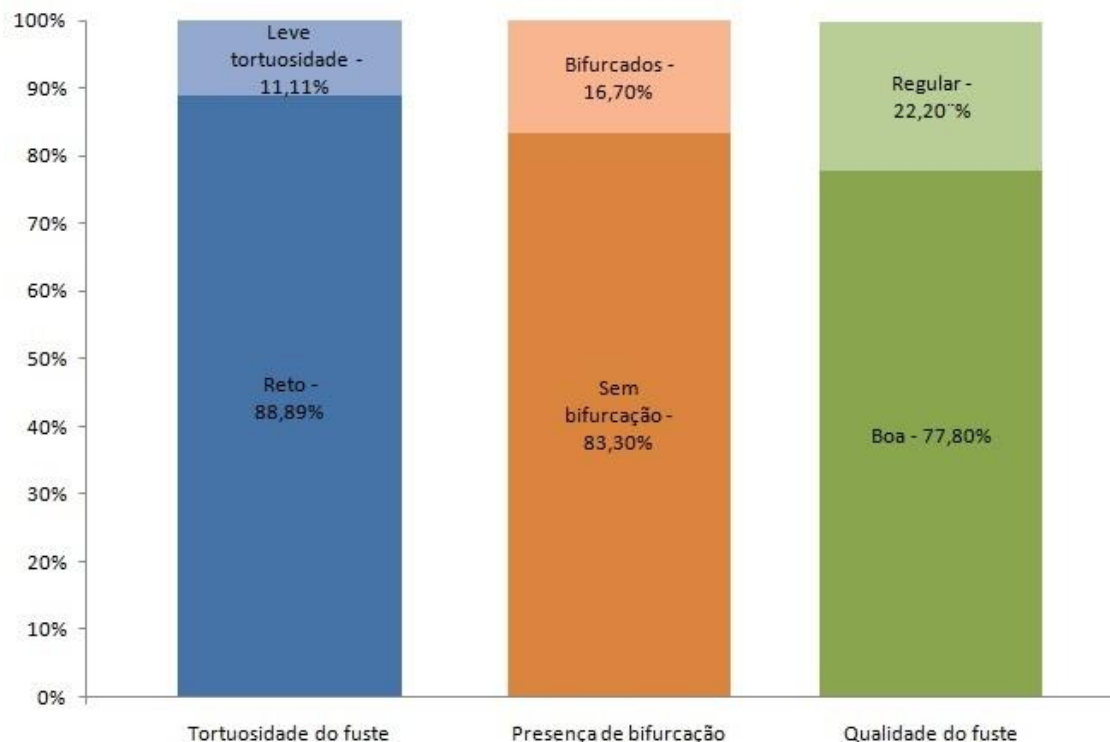


Figura 16. Aspectos qualitativos do fuste de canafístula.

Silva (2013) estudando a canafístula em nove diferentes locais de reflorestamento e idades distintas, classificou a qualidade do fuste com idade de 0 a 40 anos com nota 2 (fuste reto e pouco ramificado ou torto e não ramificado).

Senna et al (2012) analisando a forma do fuste da canafístula aos 24 anos de idade, em área localizada na Estação Experimental de Luiz Antônio – SP, atribuiu notas de 1 (fuste muito tortuoso e bifurcado) a 5 (fuste reto sem bifurcação, danos e doenças) e obteve nota 3,32.

Em plantio misto, associado com espécies pioneiras, a canafístula apresenta poucos ramos, boa desrama e cicatrização natural, formando fuste alto e livre de nós (KAGEYAMA BIELLA; PALERMO JUNIOR, 1990). Portanto, a espécie possui bom potencial visando o uso para produção de madeira serrada, visto que características do fuste são favoráveis como, por exemplo, a propensão de ter fustes retos, o que contribui para o melhor aproveitamento da madeira. A espécie possui baixa tendência em desenvolver bifurcações, o que garante um melhor rendimento em madeira serrada.

4.12. Caracterização macroscópica da madeira de *Peltophorum dubium*

Foram observadas as seguintes características gerais: cerne e alborno indistintos; odor e cheiro indistintos; grã direita; textura média a grossa e anéis de crescimento distintos.

Quanto a descrição macroscópica, foi observado *parênquima axial* – visível a olho nu, paratraqueal vasicêntrico e confluentes em curtas extensões; *raios* - visíveis sob lente de 10x; *poros* – visíveis a olho nu, porosidade difusa, arranjo diagonal, solitários e múltiplos; *anéis de crescimento* – distintos, individualizados por parênquima marginal (Figura 17).

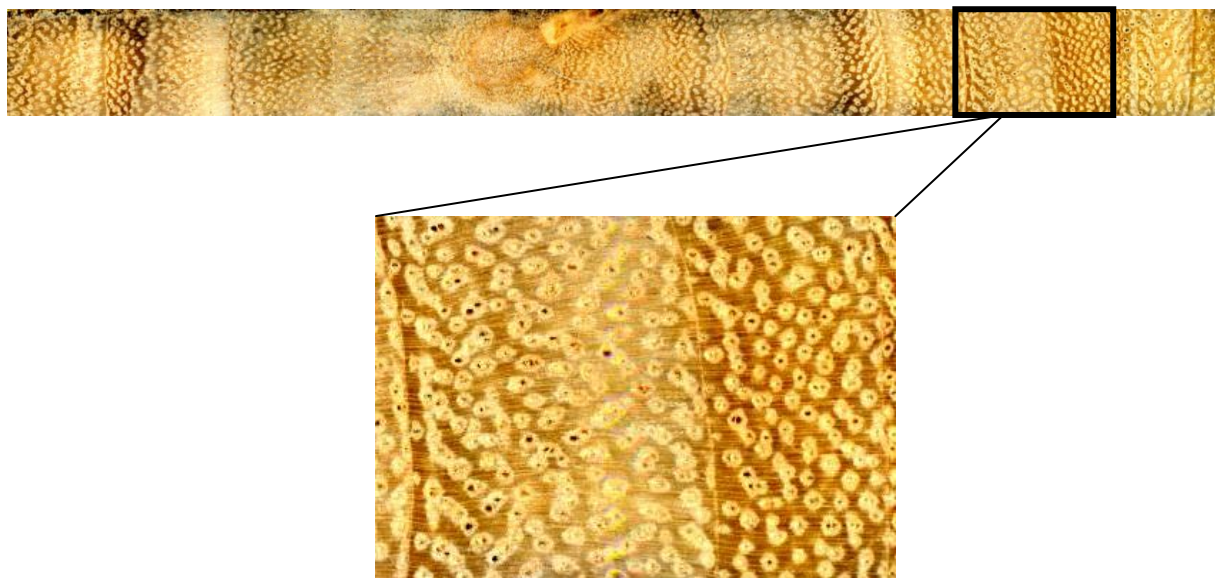


Figura 17. Amostra no plano transversal para a caracterização macroscópica da madeira de canafístula.

4.13. Determinação da densidade básica pelo método gravimétrico e da densidade aparente pelo método da densitometria de raios X

A densidade básica média obtida pelo método gravimétrico para a madeira de canafístula, aos 14 anos de idade e DAP médio de 23,74 cm (Tabela 3), foi de 502,32 kg/m³. De acordo com a classificação do IBAMA (1991), a madeira é considerada de densidade básica média na faixa de 500 a 720 kg/m³. Pela classificação utilizada por Ferraz et al. (2004) a madeira de canafístula pode ser agrupada nas madeiras de densidade básica moderadamente pesada (500 a 800 kg/m³).

Cintra (2009) estudando espécies nativas plantadas como ações de recuperação florestal na região de Assis-SP, observou que a canafístula aos 7 anos de idade possuía uma densidade básica de 488 kg/m³.

No estudo realizado por Vivian et al (2010), caracterizando as propriedades físico-mecânicas da canafístula aos 10 anos de idade, em Santa Maria –RS, árvores com DAP médio de 23 cm, os autores obtiveram uma densidade básica de 500 kg/m³.

Indivíduos arbóreos de canafístula localizados na estação experimental de Luiz Antônio – SP, aos 28 anos de idade e com DAP médio de 16,6 cm, foram analisados por Lima et al (2015) e obtiveram uma densidade básica de 460 kg/m³.

Observou-se que os resultados encontrados na literatura e os obtidos no presente estudo para densidade básica estão em uma faixa próxima, variando de 460 a 502,32 kg/m³, apesar das diferentes idades e localização de plantio a variação da densidade básica da madeira de canafístula foi pequena (9%).

Na Tabela 3 encontra-se a densidade aparente das 18 árvores estudadas, a média, os valores máximos e mínimos, assim como o desvio padrão e o coeficiente de variação (%). Não houve diferença estatística entre os valores mensurados nas direções norte-sul e leste-oeste, portanto a média da densidade de cada árvore é o valor médio das duas direções.

Observou-se o valor médio da densidade aparente a 12% de umidade de 704,15 kg/m³ pelo método da densitometria de raios X.

Tabela 3. DAP (cm) e densidade aparente (kg/m³) determinada pelo método de densitometria de raios X.

| Árvore | DAP (cm) | Densidade aparente* (kg/m ³) |
|--------------|--------------|--|
| 964 | 12,80 | 700,45 |
| 987 | 13,37 | 711,44 |
| 976 | 14,01 | 699,05 |
| 973 | 14,45 | 706,51 |
| 934 | 15,6 | 706,38 |
| 977 | 16,23 | 700,4 |
| 963 | 17,83 | 701,94 |
| 639 | 18,14 | 708,44 |
| 651 | 18,46 | 702,76 |
| 975 | 19,03 | 707,16 |
| 967 | 19,42 | 704,08 |
| 981 | 24,19 | 706,91 |
| 986 | 25,15 | 696,23 |
| 660 | 34,06 | 709,33 |
| 736 | 37,24 | 705,91 |
| 728 | 38,83 | 704,55 |
| 776 | 43,93 | 700,67 |
| 727 | 44,56 | 702,6 |
| Média | 23,74 | 704,15 |
| Mínimo | 12,8 | 696,23 |
| Máximo | 44,56 | 711,44 |
| S | 11,01 | 3,96 |
| CV (%) | 46,54 | 0,56 |

Legenda: DAP - Diâmetro a altura do peito; S – Desvio Padrão; CV – Coeficiente de Variação (%).

*Teor de umidade da madeira de 12%

De acordo com o IPT (1989), a densidade aparente a 15% de umidade da madeira de *Peltophorum dubium* é próxima a 800 kg/m³, sendo considerada uma espécie com alta densidade aparente.

Vivian et al (2010), estudando a madeira de canafístula aos 10 anos de idade, obteve densidade aparente (teor de umidade de 12%) de 640 kg/m³.

Para a madeira de canafístula localizada em Santa Rosa-RS, Pedroso; Mattos (1987) observaram densidade aparente a 15% de umidade de 770 kg /m³.

Na Tabela 4 encontram-se os valores das densidades aparentes determinados através da densitometria de raios X das 18 árvores. O perfil diametral foi realizado de casca a casca (exceto as amostras 776 e 973), sendo consideradas três regiões do perfil: 2 regiões Próximo ao câmbio e 1 próxima a medula.

Após a análise estatística, verificou-se que houve diferença significativa (a 5% de significância pelo teste de Tukey) da densidade aparente entre as regiões próximo ao câmbio e próximo a medula, sendo os valores médios de 723,06 kg/m³; 609,37 kg/m³; 726,19 kg/m³, respectivamente, para a região próximo ao câmbio 1, próximo a medula e próximo ao câmbio 2 (Tabela 4). Portanto, constatou-se a variação radial na densidade da madeira de canafístula.

Tabela 4. Densidade aparente (kg/m³) nas três regiões: próximo ao câmbio e próximo a medula determinada pelo método de densitometria de raios X.

| Árvore | Densidade Aparente (kg/m ³) | | |
|--------------|---|----------------------------|-------------------------------|
| | Região Próximo ao câmbio 1 | Região Próximo a medula | Região Próximo ao câmbio 2 |
| 967 | 687,95 | 606,19 | 767,37 |
| 975 | 711,34 | 690,77 | 715,68 |
| 987 | 758,23 | 587,17 | 720,3 |
| 981 | 710,84 | 538,27 | 775,02 |
| 964 | 739,38 | 640,13 | 683,14 |
| 963 | 748,23 | 647,63 | 667,54 |
| 934 | 729,56 | 581,43 | 764,67 |
| 776 | 721,27 | 662,41 | - |
| 736 | 733 | 678,99 | 671,07 |
| 727 | 711,89 | 638,94 | 687,69 |
| 660 | 775,34 | 589,58 | 681,71 |
| 651 | 682,75 | 684,79 | 744,24 |
| 639 | 699,36 | 546,21 | 750,31 |
| 728 | 713,57 | 665,98 | 691,47 |
| 976 | 742,99 | 572,39 | 750,66 |
| 977 | 685,32 | 563,41 | 766,51 |
| 973 | 730,97 | 605,48 | 781,63 |
| 986 | 733,03 | 468,88 | - |
| Média | 723,06 A | 609,37 B | 726,19 A |
| Mínimo | 682,75 | 468,88 | 667,54 |
| Máximo | 775,34 | 690,77 | 781,63 |
| S | 25,34 | 59,61 | 40,75 |
| CV (%) | 3,5 | 9,78 | 5,61 |

Legenda: S – Desvio Padrão; CV – Coeficiente de Variação (%). Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Nos perfis diametrais observou-se um menor valor de densidade aparente na região próximo a medula e um aumento da densidade no sentido medula-casca. Essa tendência pode ser observada na Figura 18.

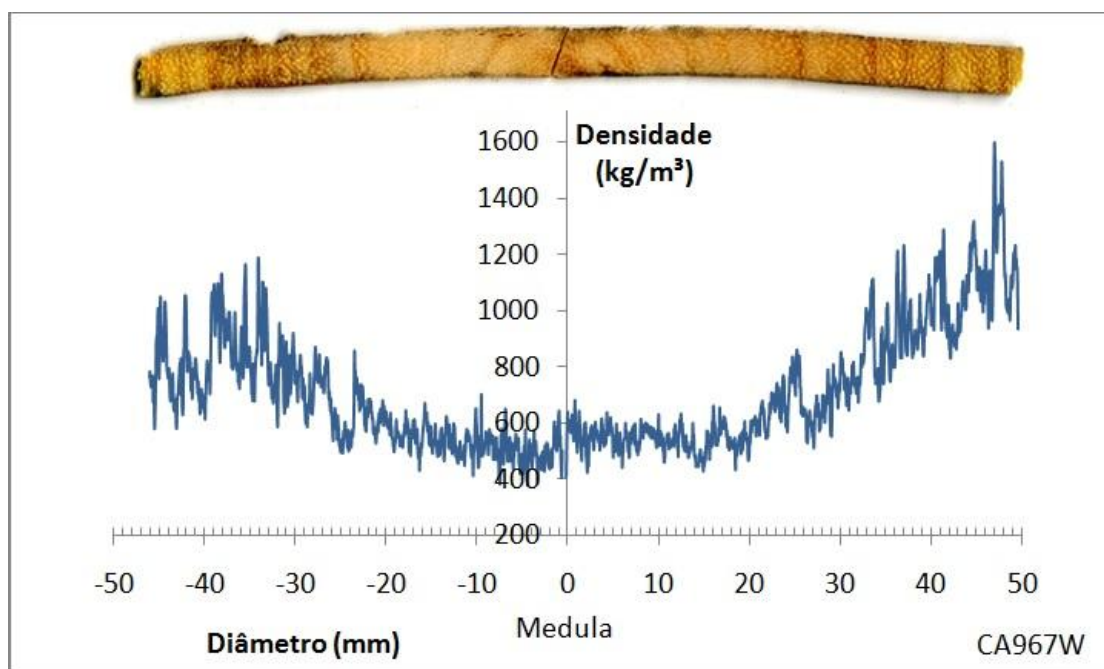


Figura 18. Perfil diametral da densidade aparente (kg/m³) da árvore 967W na direção casca-casca através da densitometria de raios X.

Esse padrão de aumento da densidade no sentido medula-casca na madeira de *Peltophorum dubium* também foi constatado por Lima et al (2015) em estudo realizado com árvores de 28 anos de idade.

O aumento de densidade da madeira da medula para a casca é observado nas espécies: *Corimbya citriodora*; *E. tereticornis*; *E. paniculata*; *E. pilularis*, *E. cloeziana*; *E. urophylla* (aos 16 anos); *E. grandis* (aos 10, 14, 16, 23 e 25 anos); *E. saligna* (aos 10 anos) (OLIVEIRA; HELLMMEISTER; TOMAZELLO FILHO, 2005; OLIVEIRA et al, 2012; SILVA et al, 2004; TOMAZELLO FILHO, 1985); *Pinus caribaea* (aos 18 anos); *Tectona grandis* (aos 52 anos) (CASTRO, 2011); leucena (*Leucaena leucocephala*); louro pardo (*Cordia trichotoma*); nim indiano (*Azadirachta indica*) (MELO et al, 2006); pau marfim (*Balfourodendron riedelianum*) aos 24 anos de idade (LIMA et al, 2011) e guapuruvu (*Schizolobium parahyba* (Vell) Blake) (ATHANÁZIO-HELIODORO, 2015).

A variação radial observada no lenho de espécies florestais ocorre devido ao crescimento da árvore e dessa maneira há mudanças nas propriedades da madeira.

Segundo Pinto (2007) as camadas próximas a medula são formadas pela madeira juvenil, enquanto aquelas próximas a casca formam a madeira adulta. A formação da madeira juvenil implica em um ritmo de crescimento mais acentuado, resultando em uma madeira de propriedades mecânicas inferior, comparado a madeira adulta. Bendtsen (1978) e Senit et al. (1985) afirmam que a densidade, a resistência e a rigidez são maiores na madeira adulta.

A densidade está estreitamente correlacionada com a estrutura anatômica, as propriedades físico-mecânicas e químicas da madeira.

A densidade é expressa em massa/volume e indica a quantidade total de parede das células de sustentação (fibras), transporte (vasos) e de armazenamento (parênquima radial e

longitudinal) contida em determinado volume de madeira, incluindo a porcentagem de extrativos (ROQUE, 2005).

Nos primeiros anéis de crescimento a madeira apresenta menor densidade e menor comprimento de fibra. Em anéis sucessivos, partindo da medula, há o aumento da densidade, do comprimento, diâmetro do lúmen e espessura da parede da fibra. A taxa de mudança na maioria das propriedades é rápida nos primeiros anéis de crescimento, porém os anéis posteriores vão assumindo gradualmente as características da madeira adulta (BENDTSEN, 1978 citado por VIDAURRE et al ,2011).

Lima et al (2015) descreveu a variação da anatomia na direção radial do lenho de *Peltophorum dubium* pelo aumento no comprimento e espessura da parede das fibras, aumento no diâmetro e diminuição na frequência de vasos na direção da casca.

Segundo Kraemer (1986), o comprimento das fibras é a principal variável na definição do limite entre a madeira adulta e a juvenil. Sendo curtas na região de madeira juvenil, perto da medula, aumentando rapidamente em direção à casca, ainda no lenho juvenil. Já no comprimento dos traqueídes na região adulta da árvore as mudanças são pequenas.

As fibras próximas à medula apresentam menor comprimento, largura, espessura da parede e diâmetro do lúmen. O diâmetro dos vasos aumenta, enquanto que a frequência diminui no sentido medula-casca (TOMAZELLO FILHO, 1985).

4.14. Determinação da densidade aparente e amplitude (%) pelo método da resistografia

Na Tabela 5 estão descritos os valores do diâmetro a altura do peito (DAP), densidade aparente (kg/m^3) e a amplitude (%), determinada pelo resistógrafo.

Não houve diferença estatística entre os valores mensurados nas direções norte-sul e leste-oeste, portanto a média da densidade e da amplitude (%) de cada árvore descreve o valor médio das duas direções.

Tabela 5. Diâmetro a altura do peito (DAP) (cm) e densidade aparente (kg/m³) determinada pelo método da resistografia.

| Árvore | DAP (cm) | Densidade (kg/m ³) | Amplitude (%) |
|--------------|--------------|--------------------------------|---------------|
| 964 | 12,80 | 844,66 | 19,47 |
| 987 | 13,37 | 832,89 | 19,08 |
| 976 | 14,01 | 838,82 | 19,27 |
| 973 | 14,45 | 876,75 | 20,53 |
| 934 | 15,60 | 794,14 | 17,80 |
| 977 | 16,23 | 874,21 | 20,44 |
| 963 | 17,83 | 824,65 | 19,29 |
| 639 | 18,14 | 850,01 | 19,64 |
| 651 | 18,46 | 902,60 | 21,38 |
| 975 | 19,03 | 890,37 | 20,97 |
| 967 | 19,42 | 820,32 | 18,66 |
| 981 | 24,19 | 900,37 | 21,30 |
| 986 | 25,15 | 829,61 | 18,97 |
| 660 | 34,06 | 936,93 | 22,51 |
| 736 | 37,24 | 987,41 | 24,15 |
| 728 | 38,83 | 1003,54 | 24,71 |
| 776 | 43,93 | 1028,36 | 25,52 |
| 727 | 44,56 | 972,52 | 23,68 |
| Média | 23,74 | 889,34 | 20,97 |
| Mínimo | 12,80 | 794,14 | 17,80 |
| Máximo | 44,56 | 1028,36 | 25,52 |
| S | 11,01 | 69,76 | 2,27 |
| CV (%) | 46,54 | 7,84 | 10,85 |

Legenda: DAP – Diâmetro a altura do peito (1,30 m); S – Desvio Padrão; CV – Coeficiente de Variação (%).

O valor médio da densidade aparente na madeira de canafístula aos 14 anos de idade pelo método da resistografia foi de 889,34 kgf/m³, a amplitude variou entre 17,80% a 25,52%, tendo como valor médio 20,97%.

Diversas pesquisas descrevem na literatura o uso do resistógrafo, porém a maioria utiliza o gênero *Eucalyptus* como objeto de estudo, informações sobre espécies nativas são escassas.

Investigando clones de *Eucalyptus* aos 3 anos de idade Gouvêa et al (2011) obteve amplitudes variando de 10,1% a 20,9%. Oliveira (2011) avaliou vinte e um clones do mesmo gênero, com idades de 3 e 4 anos, e registrou amplitude média de 23,86%.

Lima et al (2007) avaliaram sete clones híbridos de *Eucalyptus* (*E.grandis* x *E.urophylla*) aos 16 anos de idade e encontraram valores de amplitude variando de 12% a 33%.

Pádua (2009) obteve amplitude média de 13,69% a 20,93% em árvores de *Eucalyptus urograndis* aos 6 anos de idade. Dias (2011) estudando a mesma espécie com idades entre 2 e 7 anos encontrou amplitude média de 14,34%.

A amplitude verificada por Couto (2011) para *Eucalyptus grandis* foi de 11,7 % e para *Eucalyptus urophylla* de 12,99%, ambos aos 4 anos e 5 meses de idade.

As árvores de Teca (*Tectona grandis* L.f.) com 13 anos de idade possuem uma amplitude média de 13,34 % (FLÓREZ, 2012). O cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roemer), aos 5 anos, registra amplitude de 16,32 % (GONÇALVES, 2009).

Há uma grande variação nos valores de amplitude citados na literatura, o que pode ser atribuído à diferença de idade das árvores, fato este constatado por Oliveira (2011), que verificou a tendência do aumento da amplitude com o avanço da idade.

Na Tabela 6 constam os dados de densidade aparente das 18 árvores segmentadas em 3 regiões, exceto as árvores 776 e 986, as quais possuem os dados até a medula.

As regiões foram delimitadas de forma idêntica a analisada na densitometria de raios X, para obter uma padronização dos dados das regiões e possibilitar a comparação entre os dados.

Tabela 6. Densidade aparente (kg/m³) nas três regiões: próximo ao câmbio e a medula determinada pelo método de resistografia.

| Árvore | Densidade Aparente (kg/m ³) | | |
|--------------|---|----------------------------|-------------------------------|
| | Região Próximo ao câmbio 1 | Região Próximo a medula | Região Próximo ao câmbio 2 |
| 967 | 747,89 | 832,75 | 879,67 |
| 975 | 779,84 | 898,99 | 977,91 |
| 987 | 792,07 | 885,83 | 891,84 |
| 981 | 805,27 | 839,83 | 997,37 |
| 964 | 785,34 | 864,60 | 936,16 |
| 963 | 772,85 | 874,52 | 900,91 |
| 934 | 739,01 | 826,21 | 837,41 |
| 776 | 995,34 | 1128,49 | - |
| 736 | 913,87 | 1125,25 | 1154,80 |
| 727 | 935,77 | 1078,46 | 1076,46 |
| 660 | 890,76 | 958,72 | 987,23 |
| 651 | 871,83 | 918,96 | 953,31 |
| 639 | 802,85 | 857,01 | 885,26 |
| 728 | 939,78 | 1103,44 | 1151,87 |
| 976 | 785,31 | 854,03 | 903,90 |
| 977 | 731,77 | 867,85 | 955,77 |
| 973 | 794,09 | 894,18 | 966,59 |
| 986 | 815,57 | 916,34 | - |
| Média | 827,73 B | 929,19 A | 966,03 A |
| Mínimo | 731,77 | 826,21 | 837,41 |
| Máximo | 995,34 | 1128,49 | 1154,80 |
| S | 77,34 | 104,50 | 92,82 |
| CV (%) | 9,34 | 11,25 | 9,61 |

Legenda: S – Desvio Padrão; CV – Coeficiente de Variação (%). Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Após a análise estatística verificou-se a diferença significativa entre as médias (p<0,05) nas 3 regiões, onde a região próximo ao câmbio 1 se diferenciou estatisticamente das regiões próxima a medula e ao câmbio 2 (Tabela 6).

Observou-se em todas as amostras a tendência de aumento da densidade na medida em que a broca era inserida no lenho, na Figura 19 foi inserido um gráfico característico desse acréscimo. Essa tendência também foi relatada por Lima et al (2007) com clones de *Eucalyptus*. Gantz (2002) observou esse padrão de aumento conforme a haste do resistógrafo é inserida em caules de *Eucalyptus globulus* e de *E. urophylla*.

Segundo Lima et al (2007) há um maior esforço do aparelho com o aumento gradativo do atrito da haste com o lenho, o que provocaria maiores resistências e geraria um acréscimo no resultado de densidade do perfil radial das amostras. O mesmo autor afirma que o atrito é aumentado devido à presença de serragem produzida durante a perfuração.

De acordo com Oliveira (2011) a serragem gerada na inserção da haste no caule pode eventualmente prender-se na broca, aumentando dessa forma os valores de resistência que são registrados no equipamento. O autor ainda afirma que outro fator são as diferenças na distribuição das tensões internas de crescimento, dificultando a penetração da haste do resistógrafo no lenho.

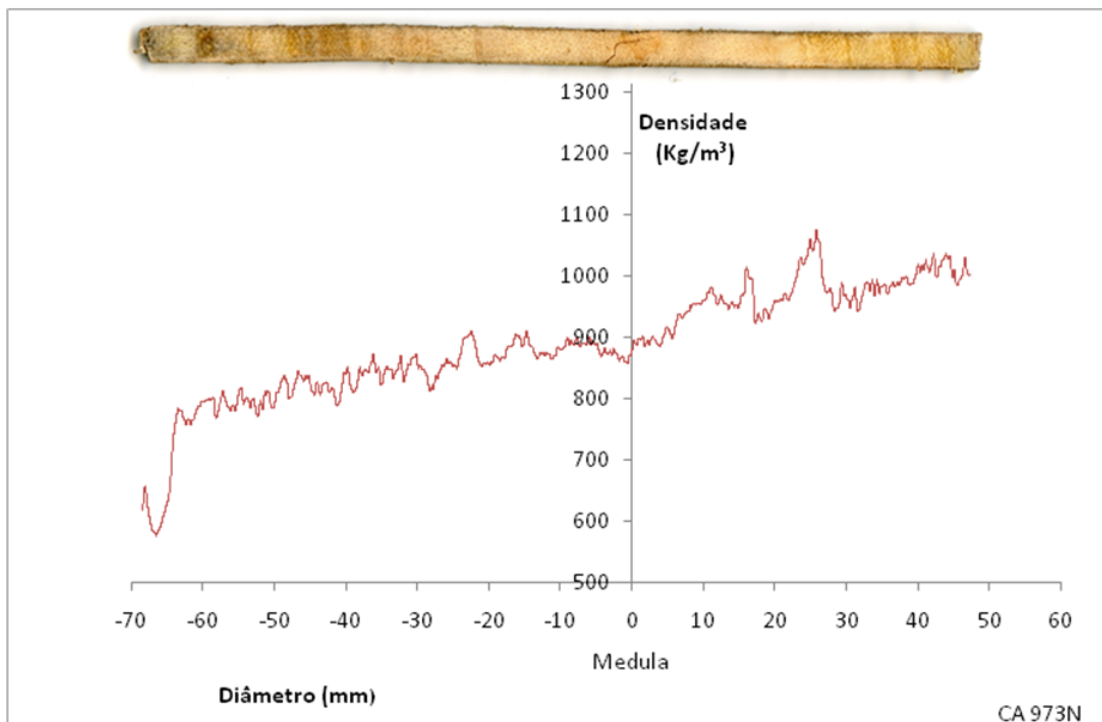


Figura 19. Perfil diametral da densidade aparente (kg/m³) da árvore 973 na direção casca-casca através do resistógrafo.

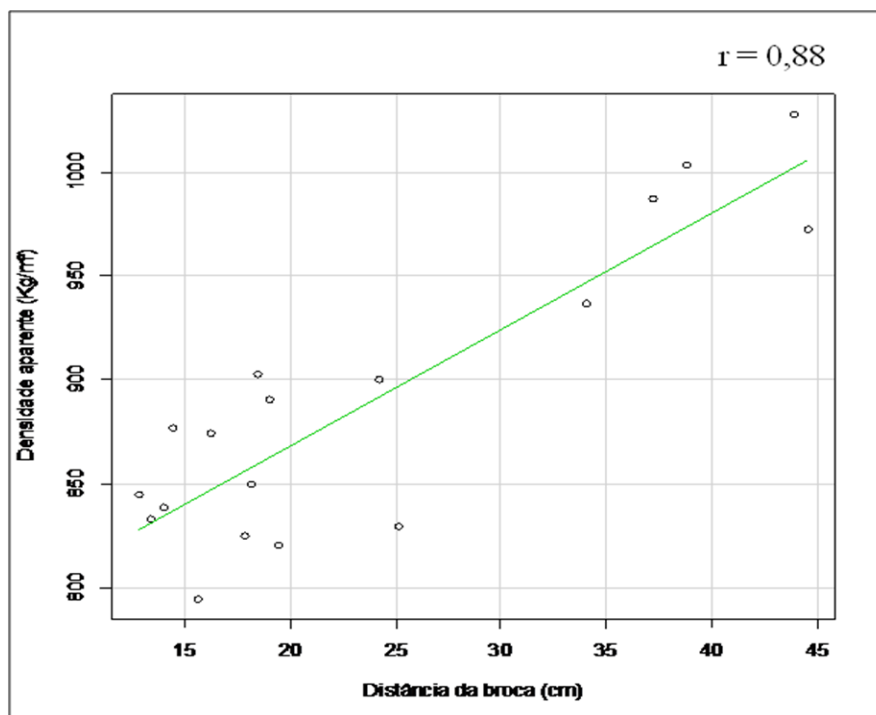


Figura 20. Correlação da densidade aparente (kg/m³) determinado pelo resistógrafo e a distância percorrida pela broca (cm).

Ocorreu uma alta correlação entre a distância percorrida pela broca, representado pelo DAP (0,88) e a densidade aparente determinada através do resistógrafo, o que corrobora a afirmativa de que o atrito da haste no lenho provoca uma maior resistência (Figura 20). Quando a haste percorre distâncias maiores, há um incremento nos valores de leitura do resistógrafo, portanto uma elevação na densidade determinada, na medida que aumenta o diâmetro da árvore.

Pádua (2009) verificou que a densidade e a amplitude (%) geradas pelo resistógrafo apresentaram tendência de aumento com a classe diamétrica, em híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*.

4.15. Comparação entre os métodos de densitometria de raios X e resistografia para a determinação da densidade aparente

Ao longo das avaliações de densitometria de raios X as amostras avaliadas encontravam-se com um teor de umidade de equilíbrio a 12%, enquanto o uso do resistógrafo foi realizado na árvore viva, portanto em condição de máximo teor de umidade (MTU). Devido a esse fato, foi calculado o MTU através da equação 3:

$$MTU = \frac{1,5 - DB}{1,5 \times DB} \times 100$$

Equação 3

Legenda: MTU - Máximo Teor de Umidade; DB – Densidade básica

Verificou-se que o MTU do lenho da canafístula era de 133%. Com esse dado pode-se estimar a densidade aparente no MTU em função da densidade básica e da retração volumétrica, através da equação 4.

$$db = da \frac{1 - \frac{R_{vt}}{P_{SF}} x (P_{SF} - T_{ue})}{1 + T_{ue}}$$

Equação 4

Legenda: db – Densidade básica; da – Densidade aparente; R_{vt} - Retração volumétrica total; P_{SF} - Ponto de saturação das fibras; T_{ue} - Teor de umidade de equilíbrio.

A densidade aparente calculada para o MTU foi de 868,94kg/m³, valor estatisticamente equivalente, pelo teste de Tukey a 5% de significância, a média geral da densidade aparente (889,34 kg/m³) determinada pelo resistógrafo (Tabela 7).

Tabela 7. Comparação da densidade aparente (kg/m³) determinada pela densitometria de raios x e resistógrafo.

| Equipamento/ Densidade calculada | Densidade Aparente (kg/m ³) | | | |
|-------------------------------------|---|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| | Média geral | Região próximo ao câmbio 1 | Região próximo a medula | Região próximo ao câmbio 2 |
| *Raios x | 704,15 Ab | 723,06 Ab | 609,37 Bb | 726,19 Ab |
| **Resistógrafo | 889,34 ABa | 827,73 Ba | 929,19 Aa | 966,03 Aa |
| Densidade Calculada (MTU) | 868,94 a | | | |

Legenda: MTU – Máximo Teor de Umidade; * Teor de umidade da amostra = 12%; **Teor da amostra = 133% (MTU). Médias seguidas por letras maiúsculas distintas mostram diferenças significativas na mesma linha, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância, e por letras minúsculas, na mesma coluna.

Na Figura 21 pode-se observar a tendência de aumento da leitura do resistógrafo em função do aumento da inserção da broca no lenho. Assim como verifica-se na Tabela 7 que a média da densidade determinada pelo resistógrafo nas regiões próximo a medula e próximo ao câmbio 2, foram maiores e estatisticamente diferentes (p<0,05) do que na região próximo ao câmbio 1.

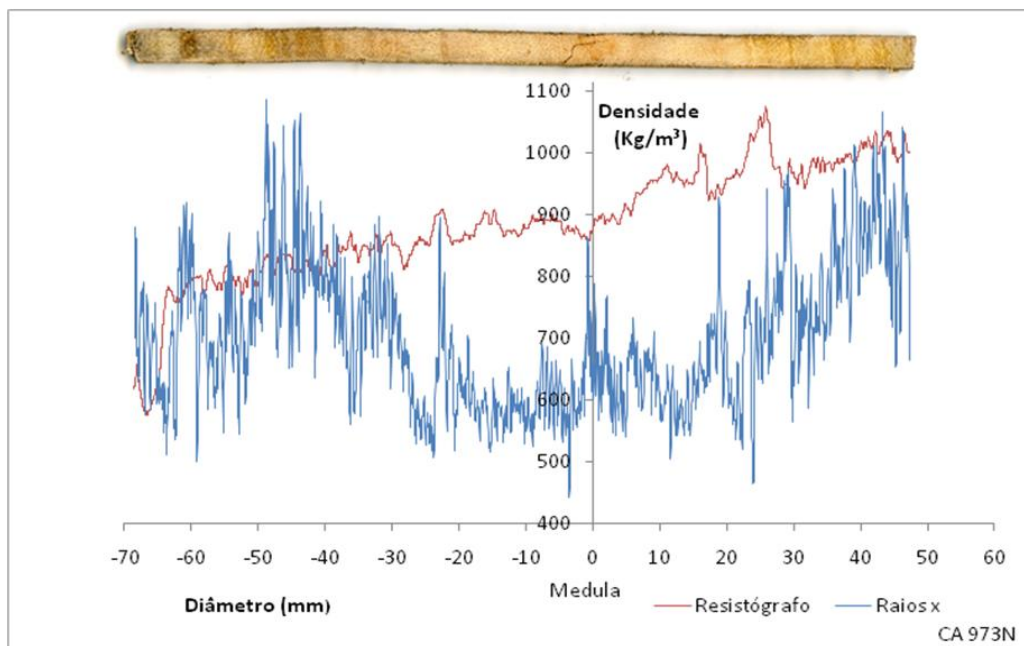


Figura 21. Comparação gráfica do perfil diametral gerado pela densitometria de raios X e resistógrafo.

Devido ao aumento de resistência de penetração da broca e, conseqüentemente, da densidade a partir da região próxima a medula, explicado pelo maior atrito da broca no lenho pela geração de serragem na perfuração e das tensões internas da árvore; os valores mais confiáveis de densidade gerados pela metodologia da resistografia são aqueles até a região próxima a medula, após ela ocorre a tendência de superestimar os valores.

O resistógrafo se mostrou satisfatório para estimar a densidade geral da árvore e avaliar a sua fitossanidade, verificando que não houve nenhum oco ou podridão nas árvores de canafístula estudadas.

Porém, o resistógrafo não mostrou eficiência no estudo da variação radial da densidade da madeira em árvores de canafístula, devido a tendência de superestimar a densidade a partir da região próxima a medula, ao contrário da densitometria de raios X que é precisa na leitura da variação radial, demonstrando que houve um aumento da densidade da medula para casca.

O resistógrafo mostrou-se uma ferramenta de rápida leitura no campo, sendo indicado para a verificação da fitossanidade e estimar a densidade geral de árvores vivas. Portanto, é um equipamento eficiente para uma pré análise antes de se efetuar o abate e indicado quando o objetivo é uma estimativa da densidade, como por exemplo na seleção de material genético no campo tendo como parâmetro valores de densidade da madeira.

4.16. Determinação da deformação residual longitudinal (DRL) através do extensômetro

Na Tabela 8 estão apresentados os valores do DAP, determinação residual longitudinal (DRL) e a espessura da casca das 18 árvores de canafístula. O valor da DRL variou entre 0,025 mm e 0,135 mm, sendo a média de 0,072 mm.

Na literatura há uma escassez de informações sobre a DRL de espécies nativas, predominando estudos do gênero *Eucalyptus*.

Diversos autores determinaram a DRL média em clones de *Eucalyptus*. Cardoso Junior et al (2005) obtiveram média geral de 0,065 mm para diferentes idades (3; 5; 7; 8 e 9 anos). Trugilho et al (2006) estudando seis clones do gênero *Eucalyptus*, aos 10,5 anos de idade, encontraram DRL variando entre 0,066 a 0,125 mm. Nos clones de *Eucalyptus* aos 6 anos de idade estudados por Souza et al (2003), o valor médio da DRL foi de 0,090 mm. Beltrame (2010) avaliando clones aos 4 anos de idade obteve 0,111 mm para a média da DRL.

O estudo realizado por Pádua et al (2004) com clones de *Eucalyptus* em três diferentes idades (7,6; 4,3 e 4 anos) teve como valor médio 0,076 mm para a DRL. Lima et al (2004) apresentou o valor médio de 0,071 mm na DRL para clones de *Eucalyptus* em três idades distintas (8,5; 11 e 15 anos).

Tabela 8. Valores do DAP, determinação residual longitudinal (DRL) e espessura da casca para as 18 árvores de canafístula.

| Árvore | DAP (cm) | DRL (mm) | Espessura da casca (cm) |
|--------------|--------------|--------------|-------------------------|
| 964 | 12,80 | 0,043 | 6,64 |
| 987 | 13,37 | 0,047 | 6,31 |
| 976 | 14,01 | 0,111 | 7,47 |
| 973 | 14,45 | 0,064 | 7,03 |
| 934 | 15,60 | 0,059 | 6,54 |
| 977 | 16,23 | 0,076 | 6,91 |
| 963 | 17,83 | 0,064 | 6,86 |
| 639 | 18,14 | 0,048 | 4,56 |
| 651 | 18,46 | 0,025 | 9,50 |
| 975 | 19,03 | 0,126 | 5,28 |
| 967 | 19,42 | 0,051 | 5,14 |
| 981 | 24,19 | 0,044 | 7,08 |
| 986 | 25,15 | 0,033 | 6,10 |
| 660 | 34,06 | 0,044 | 8,20 |
| 736 | 37,24 | 0,135 | 7,00 |
| 728 | 38,83 | 0,126 | 10,49 |
| 776 | 43,93 | 0,073 | 7,69 |
| 727 | 44,56 | 0,134 | 6,95 |
| Média | 23,74 | 0,072 | 6,99 |
| Mínimo | 12,80 | 0,025 | 4,56 |
| Máximo | 44,56 | 0,135 | 10,49 |
| S | 10,92 | 0,037 | 1,43 |
| CV (%) | 45,99 | 51,10 | 20,42 |

Legenda: DAP – Diâmetro a altura do peito (1,30 m); DRL – Deformação Residual Longitudinal; S – Desvio Padrão; CV – Coeficiente de Variação (%).

Árvores de teca (*Tectona grandis* L.f.) aos 14 anos de idade apresentaram uma deformação residual longitudinal média de 0,047 mm em trabalho de Florez (2012).

O cedro australiano (*Toona ciliata*) aos 2 e 5 anos de idade apresentou uma média geral de 0,056 mm para a DRL (GONÇALVES, 2009).

Delucis et al. (2015) estudando a DRL em árvores de acácia-negra (*Acacia mearnsii*), aos 4 e 7 anos de idade, encontraram valor médio de 0,066 mm.

A DRL média encontrada para a canafístula no presente trabalho está de acordo com os valores observados na literatura, sendo mais próximo dos clones de eucaliptos. Trugilho et al (2006) estudando seis clones de *Eucalyptus* aos 10,5 anos de idade indicaram dois clones com potenciais para a produção de madeira serrada, devido a melhor distribuição e o menor nível de tensões de crescimento apresentados, DRLs médias de 0,066 e 0,074 mm. Tais valores foram próximos aos encontrados neste estudo para canafístula, onde a média da DRL foi de 0,072 mm.

O valor de DRL médio encontrado para a canafístula foi inferior ao obtido por Silva et al (2016) para duas espécies de mogno africano aos 19 anos de idade, *Khaya ivorensis* (0,082 mm) e *Khaya senegalensis* (0,084 mm). Os autores encontraram relações positivas, porém não significativas, entre o índice de rachaduras de topo das toras e a DRL. Concluíram ainda que os valores encontrados não são elevados ao ponto de inviabilizar o uso e a qualidade do mogno africano para a produção de madeira serrada. Neste sentido, comparando com a DRL encontrada nesse estudo, a madeira de canafístula apresentou potencial para a produção de madeira serrada.

Na Tabela 9 estão demonstradas as correlações entre o DRL, o DAP e a espessura da casca.

Tabela 9. Correlação pelo método de Pearson entre o DAP, DRL e a espessura da casca.

| | DAP (cm) | DRL (mm) | Espessura da casca (cm) | IPA ₂₀₁₂₋₂₀₁₅ (cm/ano) | IMA (cm/ano) |
|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------------------------|--------------------------------------|---------------------|
| DAP (cm) | 1 | 0,471* | 0,396 ^{ns} | 0,689* | 1 |
| DRL (mm) | | 1 | 0,139 ^{ns} | 0,206 ^{ns} | 0,471* |
| Espessura da casca (cm) | | | 1 | 0,301 ^{ns} | 0,396 ^{ns} |
| IPA ₂₀₁₂₋₂₀₁₅ (cm/ano) | | | | 1 | 0,689* |
| IMA (cm/ano) | | | | | 1 |

Legenda: DAP – Diâmetro a altura do peito; DRL – Deformação residual longitudinal; IPA₂₀₁₂₋₂₀₁₅ – Incremento periódico anual em diâmetro nos anos de 2012 a 2015; IMA – Incremento médio anual. *significativo a 5% de significância e ^{ns} não significativo.

Conforme apresentado na Tabela 9, há uma correlação positiva e significativa entre o DAP e o IPA ($r = 0,689$), entre a DRL e o DAP ($r = 0,471$), entre a DRL e o IMA ($r = 0,471$) nas árvores de canafístula. Malan; Hoon (1992), em pesquisa com *Eucalyptus* spp., observaram correlação significativa entre o incremento médio anual em diâmetro das árvores vivas e as rachaduras de topos de toras.

Neste estudo observou que para a canafístula aos 14 anos de idade, a taxa de crescimento é um fator que influi na DRL, quanto maior a intensidade do incremento maior será a DRL. Foi constatado que em um período de 3 anos, IPA₂₀₁₂₋₂₀₁₅, o incremento foi menor (Tabela 1), sendo assim, não houve correlação significativa entre o DRL e o incremento diamétrico nos últimos 3 anos (IPA₂₀₁₂₋₂₀₁₅) (Tabela 9).

Vidaurre et al (2015) analisando o *Eucalyptus benthamii* aos 5 anos de idade verificaram correlação de 0,368 entre os valores máximos de DRL e o DAP. Muneri et al. (2000) estudando *Eucalyptus cloeziana* aos 4 anos de idade encontraram correlação significativa de DRL com o DAP ($r = 0,51$).

Por outro lado, alguns trabalhos demonstram uma correlação significativa e negativa entre o DAP e a DRL em *Eucalyptus* (TRUGILHO et al., 2004; SILVA, 2008; CARVALHO et al, 2010, DELUCIS et al., 2015).

A DRL é influenciada por fatores de crescimento, os quais, dependendo da espécie, podem ter interferência negativa ou positiva. De acordo com Chafe (1979) a diferença de comportamento das tensões de crescimento entre espécies é normal, sugerindo que essas podem ser controladas por fatores genéticos.

Lima et al (2004) demonstrou que a DRL variou em função dos materiais genéticos em cinco clones de *Eucalyptus*. Trugilho et al (2007) e Pádua et al (2004) verificaram os altos valores de herdabilidade da DRL em clones de *Eucalyptus*, concluindo que esta característica possui forte controle genético.

O uso do extensômetro no campo para determinar a deformação residual longitudinal é de fácil aplicabilidade e pode prever a tendência dos índices de rachaduras na madeira ainda antes do abate da árvore e, dessa forma, pode-se verificar quais indivíduos são menos propensos a rachaduras.

5. CONCLUSÕES

A canafístula se mostrou exigente em fertilidade do solo, sendo Ca e Mg elementos limitantes para o incremento diamétrico.

Os indivíduos de canafístula estudados aos 14 anos de idade tiveram como características fustes retilíneos, não apresentaram tendência de bifurcação e são isentos de podridão ou de ocos no interior do lenho.

A variação radial da densidade da madeira de canafístula avaliada possuiu aumento da medula para casca, sendo considerada madeira de densidade moderada.

Os valores de deformação residual longitudinal obtidos foram considerados dentro dos padrões observados para outras espécies, utilizando como referência os estudos com eucalipto.

A utilização das metodologias não-destrutivas para a avaliação da qualidade da madeira ainda no campo são ferramentas que produziram resultados de forma rápida e simples.

Por fim, a partir do estudo realizado das características silviculturais e tecnológicas da madeira de árvores de canafístula, através dos resultados para as árvores avaliadas aos 14 anos de idade, pôde-se afirmar que o material genético estudado da espécie possui alto potencial para a produção de madeira.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Torna-se necessária a continuação da pesquisa para que se obtenham maiores detalhamentos das propriedades tecnológicas da madeira de canafístula. Recomenda-se o estudo anatômico da espécie, assim como a determinação das propriedades mecânicas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACESSA SP, Governo de Estado de São Paulo. História de Descalvado. 2016. Disponível em: < <http://rede.acesasp.sp.gov.br/blogada/historia-de-descalvado-no-acesa> > Acesso em: 30 de jan. 2016.

ALVARADO, J. R. **Dendrocronologia de árvores de mogno, *Swietenia macrophylla* King. Meliaceae, ocorrentes na floresta Amazônica do Departamento de Madre de Dios, Peru.** 2009. 129 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

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.

AMARAL, A. C. B. **Implantação da metodologia de densitometria de raios-x em madeira.** 1994. 109p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba. 1994.

AMARAL, A. C. B.; TOMAZELLO FILHO, M. Avaliação das características dos anéis de crescimento de *Pinus taeda* pela microdensitometria de raios X. **Revista Ciência e Tecnologia**, Piracicaba, v. 11/12, n. 6, p. 17-23, 1998.

AMODEI, J. B. **Avaliação da qualidade da madeira de *Tectona grandis* L.f. por meio de análises tomográfica, microdensitométrica e anatômica.** Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). 2011. 50 p. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, 2011.

ARIZAPANA-ALMONACID, M. A. **Avaliação do crescimento e da qualidade do lenho de árvores de *Eucalyptus urophylla*, de 8 anos, de teste de progênies, visando a produção de carvão vegetal.** 2013. 159 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais - Tecnologia de Produtos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 7190 – **Projeto de Estruturas de Madeira** – São Paulo, 107p. 1997.

ATHANÁZIO-HELIODORO, J. C. **Qualidade da madeira de árvores de Guapuruvu (*Schizolobium Parahyba* (Vell.) BLAKE) com 15 anos provenientes de área de recuperação florestal.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Botucatu, SP. 2015

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, 1992. p. 726-731.

BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O.; MIGLIORINI, A. J. Estudo da variação longitudinal da densidade básica de *Eucalyptus spp.* **Silvicultura**, São Paulo, v. 8, n. 28, p. 726-731, fev. 1983.

BELTRAME, R. **Determinação das deformações residuais longitudinais decorrentes das tensões de crescimento em *Eucalyptus spp.*** 2010. 81p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, 2010.

BELTRAME, R.; LAZAROTTO, M.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; SCHNEIDER, P. R.; AGUIAR, A. M. Determinação das deformações residuais longitudinais decorrentes das tensões de crescimento em *Eucalyptus spp.* **Ciência Florestal**, v.22, n.2, p. 343-351, 2012.

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.

BENDTSEN, B. A. Properties of wood from improved and intensively managed trees. **Forest Products Journal**. v. 28, n.10, p. 61-71. 1978.

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.

BIRCH, J. C.; NEWTON, A.C.; AQUINO, C. A.; CANTARELLO, E.; ECHEVERRÍA, C.; KITZBERGER, T.; SCHIAPPACASSE, I.; GARAVITO, N. T. Cost-effectiveness of dryland forest restoration evaluated by spatial analysis of ecosystem services. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 107, n 50, p. 21925-21930, 2010.

BRANCALION, P. H. S.; VIANI, R. A. G.; STRASSBURG, B. B. N.; RODRIGUES, R. R. Finding the money for tropical forest restoration, **Unasyuva**, Roma, v. 63, n. 239, p. 41-50, 2012/1.

BRIENZA JÚNIOR, S.; PEREIRA, J. F.; YARED, J. A. G.; MOURÃO JÚNIOR, M.; GONÇALVES, D. de A.; GALEÃO, R. R. Recuperação de áreas degradadas com base em sistema de produção florestal energético-madeireiro: indicadores de custos, produtividade e renda. **Revista Amazônia: Ciência e Desenvolvimento**, Belém, v. 4, n. 7, p. 197-219, 2008.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: I., densidade e teor de lignina da madeira de eucalipto. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n. 14, p. 9- 20, maio 1977.

CARDIN, V. de S. **Ensaio não destrutivo aplicados à madeira serrada e estruturas: técnicas potenciais para uso no Brasil**. 2011. 116 p. Dissertação (Mestrado em construção civil) -- Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP. 2011.

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, jul./set. 2005.

CARNEIRO, R. S. **Influência de defeitos de crescimento e das dimensões de traqueídeos nas propriedades de densidade e flexão estática da madeira de *Pinus caribea***. 2006. 171 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

CARVALHO, A. M.; GONÇALVES, M. P. M.; AMPARADO, K. F.; LATORRACA, J. V. F.; GARCIA, R. A. Correlações da altura e diâmetro com as tensões de crescimento em árvores de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus urophylla*. **Revista Árvore**, v.34, n.2, p.323-331, 2010.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: Recomendações Silviculturais, potencialidades e uso de madeira**. Brasília, DF: EMBRAPA-CNPQ, 640 p. 1994.

CARVALHO, P. E. R. Espécies nativas para fins produtivos. **Espécies não tradicionais para plantios com finalidades produtivas e ambientais**. Colombo: EMBRAPA CNPF, p.103-125. 1998.

CARVALHO, P. E. R. **Canafístula**. Circular Técnica 64, Colombo, PR, 2002.

CARVALHO, P. E. R., **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, v.1, 1039 p. 2003.

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.)**. 2011. 108p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

CASTRO, V. R.; TOMAZELLO FILHO, M. .; SURDI, P. G. Avaliação do perfil radial do lenho de árvores de *Pinus* (*Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf.) por densitometria de raios X. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 103, p. 353–360, 2014.

CEPAGRI – Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura. **Clima dos Municípios Paulistas**. 2016. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_153.html>. Acesso em: 30 jan.2016.

CHAFE, S. C. Growth stresses in trees. **Australian Forest Research**, v.9, p.203-223, 1979.

CHAGAS, M. P. **Caracterização dos anéis de crescimento e dendrocronologia de árvores de *Grevillea robusta* A. Cunn, *Hovenia dulcis* Thunb., *Persea americana* Mill., *Tabebuia pentaphylla* Hemsl. e *Terminalia catappa* L. nos municípios de Piracicaba e Paulínia, SP**. 2009. 113 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

CHAZDON, R.L. Beyond Deforestation: Restoring Forests and Ecosystem Services on Degraded Lands. **Science**, Washington, v. 320, n. 5882, p. 1458-1460, 2008.

CIDADE-BRASIL. **Município de Descalvado**. 2016. Disponível em: <<http://www.cidade-brasil.com.br/municipio-descalvado.html>> Acesso em: 30 jan.2016.

CINTRA, T. C. **Avaliações energéticas de espécies florestais nativas plantadas na região do Médio Paranapanema, SP**. Dissertação (mestrado em Ciências Florestais). Esalq - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 2009

COSTA, M. do P.; NAPPO, M. E.; CAÇADOR, F. R. D.; BARROS, H. H. D. de. Avaliação do processo de reabilitação de um trecho de floresta ciliar na bacia do rio Itapemirim - ES. **Revista Árvore**, v. 34, n. 5, p. 835–851, 2010.

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.

CRUZ, C. A. F. E.; PAIVA, H. N. de; CUNHA, A. C. M. C. da; NEVES, J. C. L. Macronutrientes na produção de mudas de canafístula em argissolo vermelho amarelo da região da Zona da Mata, MG. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 3, p. 445–457, 2011.

DADSWELL, H. E. The anatomy of eucalypt wood. Melbourne, **Forest Products Laboratory**, CSIRO, n. 66, p. 1-28. 1972.

DAVIDE, A. C.; FARIA, J. M. R. Revegetação de área de empréstimo da Usina Hidrelétrica de Camargos (CEMIG). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 3., 1997, Ouro Preto. **Trabalhos voluntários...** Viçosa, MG: SOBRADE; UFV/ DPS/DEF, 1997. p. 462-473.

DECOUX, V.; VARCIN, E.; LEBAN, J.M. Relations between the intra-ring wood density assessed by x-ray densitometry and optical anatomical measurements in conifers. Consequences for the cell apparent density determination. **Annals of Forestry Science**, v.61, p.251-262, 2004.

DEL MENEZZI, C. H. **Utilização de um método combinado de desdobro e secagem para a produção de madeira serrada de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden e *E. cloesiana* F. Muell.** 1999. 77 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1999.

DELUCIS, R. de A.; BELTRAME, R.; GATTO, D. A.; CADEMARTORI, P. H.G. de; SCHNEID, E. Análise da deformação residual longitudinal e sua relação com propriedades tecnológicas da madeira de acácia-negra. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.39, n.3, p.585-594, 2015.

DELUCIS, R. de A.; MISSIO, A. L.; BELTRAME, R.; GATTO, D. A. Predição da deformação residual longitudinal por meio de propriedades dendrométricas e físicas de acácia negra. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 05, n. 01, p. 42-57, 2014.

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.

DONADIO, N. M. M.; DEMATTÊ, M. E. S. P. Morfologia de frutos, sementes e plântulas de CANAFÍSTULA (*Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.) e JACARANDÁ-DA-BAHIA (*Dalbergia nigra* (Vell.) Fr.All. ex Benth.) – FABACEAE. **Revista Brasileira de Sementes**, v.22, n.1, p.64-73, 2000.

DURLO, M. A. **Tecnologia da madeira: peso específico**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1991. 29 p. (Serie Técnica, 8). 1991.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. **Locais de ocorrência natural de canafístula**: mapa. Colombo: Embrapa Florestas, 2007.

ENGEL, V. L.; PARROTTA, J. A. An evaluation of directing seeding for reforestation of degraded lands in central São Paulo state, Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 152, n. 1/3, p. 169-181, 2001.

ENGLERT, G. H. Framework of qualitative relationship in wood utilization. Madison, **Forest Products Laboratory**, Research Papper FFP 45. 16p. 1966.

ERSKINE, P. D.; LAMB; D.; BRISTOW, M. Tree species diversity and ecosystem function: Can tropical multi-species plantations generate greater productivity? **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 233, n. 2/3, p.205-210, 2006.

FERRAND, J. C. Growth stresses and silviculture of eucalyptus, **Australian Forest Research**, Melbourne, v.13, v.1, p.75 – 81, 1983.

FERRAZ, I. D. K.; LEAL FILHO, N.; IMAKAWA, A. M.; VARELA, V.P.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M. Características básicas para um agrupamento ecológico preliminar de espécies madeireiras da floresta de terra firme da Amazônia Central. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 34, n. 4, dez. 2004.

FERREIRA, A. T. B.; TOMAZELLO FILHO, M. Caracterização dos anéis de crescimento de árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf. por densitometria de raios X. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 83, p. 287-298, 2009.

FERREIRA, W. C.; BOTELHO, S. A.; DAVIDE, A. C.; FARIA, J. M. R. Avaliação do crescimento do estrato arbóreo de área degradada revegetada à margem do Rio Grande, na Usina Hidrelétrica de Camargos, MG. **Revista Árvore**, v. 31, n. 1, p. 177–185, 2007.

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.

FOELKEL, C. E. B. Qualidade da madeira de eucalipto para atendimento das exigências do mercado de celulose e papel. **Eucalyptus online book**; 11p. 1997.

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.

GARTLAND, H. M.; SALAZAR, W. Descripción y clave de reconocimiento de las principales especies forestales de Misiones al estado de renuevo. **Yvyrareta**, Eldorado, v.3, n.3, p.117-129, 1992.

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.

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.

GURGEL FILHO, O. A. Essências indígenas. **Silvicultura em São Paulo**, São Paulo, v.9, p.47-52. 1975.

HASELEIN, C. R.; LOPES, M. C.; SANTINI, E. J.; LONGHI, S. J.; ROSSO, S.; FERNANDES, D. L. G.; MENEZES, L. F. Características tecnológicas da madeira de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.14, n.2, p.145-155, 2004.

HILLIS, W. E. Chemical aspects of heartwood formation. **Appita, Victoria**, v. 26, n. 2, p. 113-120, 1972.

HOLL, K. D.; AIDE, T. M. When and where to actively restore ecosystems? **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 261, n. 10, p. 1558-1563, 2011.

HOLL, K. D.; HOWARTH, R. B. Paying for Restoration. **Restoration Ecology**, Malden, v. 8, n. 3, p. 260-267, 2000.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest mensuration**. 3ed. New York: John Wiley & Sons, 402p. 1982.

HUGHES, J. F.; SARDINHA, R. M. A. The application of optical densitometry in the study of wood structure and properties. **Journal of Microscopy**, Oxford, v. 104, n. 1, p. 91-103, 1975.

INOUE, M. T.; RODERJAN, C. V.; KUNIYOSHI, Y. S. **Projeto madeira do Paraná**. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 260 p.1984.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Normas de procedimentos em estados de anatomia de madeira**: I. Angiospermae, II. Gimnospermae. Brasília: Laboratório de produtos florestais, 1991. 19p. (Série Técnica, 15).

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio). **“Planos de Manejo das Florestas Nacionais do Crepori, Jamanxim e do Amana, localizadas no Estado do Pará”** Produto 3.2 - Relatório Inventário Florestal Da Floresta Nacional Do Crepori. Curitiba, Pr. 2009.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Fichas de características das madeiras brasileiras**. São Paulo: IPT, 1978. s.p

KAGEYAMA, P. Y.; BIELLA, L. C.; PALERMO JUNIOR, A. Plantações mistas com espécies nativas com fins de proteção a reservatórios. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1990. v.1, p.109-112. Publicado na Silvicultura, n.42, 1990.

KANOWSKI, J.; CATTERALL, C. Carbon stocks in above-ground biomass of monoculture plantations, mixed species plantations and environmental restoration plantings in north-east Australia. **Ecological Management & Restoration**, Carlton, v. 11, n. 2, p. 119-126, 2010.

KOLLMANN, F. F. P. ; COTÊ, W. A. Principles of wood science and technology. Berlin: Springer-Verlag, v. 1, 592p. 1968.

KRAHMER R. Fundamental anatomy of juvenile and mature wood. In: *Proceedings of the a technical workshop: juvenile wood - what does mean to forest management and forest products*; 1986; Madsion. Madison: **Forest Products Reserch Society**; 1986. p. 5-11.

KUBLER H. Silvicultural control of mechanical stresses in trees. **Canadian Journal of Forest**. V. 18, n. 10, p. 1215-1225. 1988.

LAMB, D. Large-scale Ecological Restoration of Degraded Tropical Forest Lands: The Potential Role of Timber Plantations. **Restoration Ecology**, Malden, v. 6, n. 3, p. 271-179, 1998.

LAMB, D.; ERSKINE, P. D.; PARROTTA, J.A. Restoration of Degraded Tropical Forest Landscapes. **Science**, Washington, v. 310, n. 5754, p.1628-1632, 2005.

LATORRACA J. V. F., ALBUQUERQUE, C. E. C. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**. v. 7, n.1, p. 279-91. 2000.

LIMA, L. L.; GARCIA, J. N.; NOGUEIRA, M. C. S. Influência do desbaste nas tensões de crescimento de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, n. 58, p. 111-125, 2000.

LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S. C. S.; CRUZ, C. R. Deformação residuais longitudinais decorrentes de tensões de crescimento em eucaliptos e suas associações com outras propriedades. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, 2004.

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, I. L de; MASTELIN, S. M.; LONGUI, E. L.; FREITAS, M. L. M.; ROMEIRO, D.; ZANATTO, A. C. S.; FLORSHEIM, S. M. B. Densidade básica e dimensões celulares da madeira de *Balfourodendron riedelianum* em função da procedência e posição radial. **Revista Instituto Florestal**, v. 23, n. 2, p. 217–230, 2011.

LIMA, I. L. de; LONGUI, E. L.; CERATO, C.; FREITAS, M. L. M.; FLORSHEIM, S. M. B.; ZANATTO, A. C. S. Basic specific gravity and anatomy of *Peltophorum dubium* wood as a function of provenance and radial position. **Revista Instituto Florestal**. v. 27 n. 1 p. 19-29. 2015.

LIN, C. J.; TSAI, M. J.; LEE, C. J. ; WANG, S. Y.; LIN, L. D. Effects of ring characteristics on the compressive strength and dynamic modulus of elasticity of seven softwood species. **Holzforchung**, Berlin, v. 61, p. 414-418, 2007.

LOBÃO, M. S.; COSTA, D. P.; ALMONACID, M. A. A.; TOMAZELLO FILHO, M. Qualidade do lenho de árvores de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*, Acre, Brasil. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 19, n. 3, p. 374-384, 2012.

LOSCHI NETO, A.; SILVA, J. R. M.; LIMA, J. T.; RABELO, G. F. Efeito das diferentes madeiras no isolamento acústico. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 4, p. 673-682, out./dez. 2008.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002, v.1, p.368.

MALAN, F. S.; HOON, M. Effect of initial spacing and thinning on some wood properties of *Eucalyptus grandis*. **South African Forestry Journal**, Pretoria, n.163, n.1, p. 13-20. 1992.

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.

MELO, R. R. de; PAES J. B.; LIMA, C. R. de; FERREIRA, A. G. Estudo da variação radial da densidade básica de sete madeiras do semi-árido. **Revista científica eletrônica de engenharia florestal**. Ano IV, n. 07, 2006.

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.

MODES, K. S.; MELO, R. R. DE; VIVIAN, M. A.; LILGE, D. S.; SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R. Utilização da madeira de canafístula (*Peltophorum dubium* (spreng.) taub.) na confecção de chapas de madeira aglomeradas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 1, p. 147-159, 2012.

MUNERI, A.; KNIGHT, J.; LEGATE, W.; PALMER, G. Relationships between surface longitudinal growth strain and tree size, wood properties and timber distortion of 4 year old plantation grown *Eucalyptus cloeziana*. In: IUFRO CONFERENCE: THE FUTURE OF EUCALYPTS FOR WOOD PRODUCTS, 2000, Launceston, Austrália. **Proceedings...** Launceston: IUFRO, 2000. p. 292-300.

NURMA – Núcleo de Monitoramento Agroclimáticos. **Balancos hídricos climatológicos de 500 localidades brasileiras**. Disponível em: <<http://www.lce.esalq.usp.br/nurma.html>> Acesso em: 30 de Jan. 2016.

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, B. R. O. ; LATORRACA, J. V. F.; TOMAZELLO FILHO, M.; PALERMO, G. P. M.; CARVALHO, A. M.; PASTRO, M. S. Microdensitometria de Raios X Aplicada na Determinação da Variação da Densidade do Lenho de Árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill. **Scientia Forestalis**, v. 40, p. 103-112, 2012.

OLIVEIRA, E.; VITAL, B. R.; VALENTE, O. F.; GOMIDE, J. L. Correlações entre parâmetros de qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden, **Boletim Técnico da SIF**, Viçosa(MG), n.2, p.1-9, 1990.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. São Paulo, 2v., 429p. Tese (Doutorado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo). 1997.

OLIVEIRA, J. T. D. S.; HELLMMEISTER, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 29, n. 1, p. 115–127, 2005.

PÁDUA, F. A., **Amostragem para avaliação da densidade básica da madeira de um híbrido de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake**. 2009. 87p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira). Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2009.

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

PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. de. **Textbook of wood technology**. 3. ed. New York: McGraw Hill. 705 p. 1980.

PEDROSO, O.; MATTOS, J. R. **Estudo sobre madeiras do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas de Recursos Naturais Ataliba Paz, 1987. 181p. (Publicação IPRNR, n.20).

PINTO, M. L. **Propriedades e Características da Madeira de Teca (*Tectona grandis*) em função da idade**. 2007. 124 p. Tese (Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2007.

PLATH, M.; MODY, K.; POTVIN, C.; DORN, S. Establishment of native tropical timber trees in monoculture and mixed-species plantations: Small-scale effects on tree performance and insect herbivore. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 261, n. 3, p. 741-750, 2011.

POLGE, H. Densitometric analysis of radiographs. **Annales de L'école Nationale des Eaux et Forêts**, Paris, v. 20, n. 4, p. 530-581, 1963.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. **Mensura Forestal**. San José, C.R.: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, 561p. 1997.

PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. de. **Textbook of wood technology**. 3. ed. New York: McGraw Hill, 1980. 705 p. 1980.

PIOTTO, D.; CRAVEN, D.; MONTAGNINI, F.; ALICE, F. Silvicultural and economic aspects of pure and mixed native trees species plantations on degraded pasturelands in humid Costa Rica. **New Forests**, Dordrecht, v. 39, n. 3, p. 369-385, 2010.

QUEIROZ, S. C. S.; GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J.L.; OLIVEIRA, R. C. de. Influência da densidade básica da madeira na qualidade da polpa kraft de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden X *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 6, p. 901-909, 2004.

RAGLAND, K. W.; AERTS, D. J.; BAKER, A. J. Properties of Wood for Combustion Analysis. **Bioresource Technology**. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin. p. 161-168. 1991.

RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P.H.S.; ISERNHAGEN, I. (Org.). **Pacto pela restauração da mata atlântica**: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal. São Paulo: LERF/ESALQ: Instituto BioAtlântica, 2009, cap. 5, p. 158-175. 2009.

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. Projeto madeira de Santa Catarina. **Sellowia**, n.34/35, p.525, 1978.

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.

REVISTA DA MADEIRA. Espécies tropicais promissoras. **Revista da Madeira**, ano 18, n.108, p.98-106, 2007.

ROCHA, M. G. B. **Variação da densidade básica e correlações entre caracteres de progênies jovens de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden em duas etapas de crescimento**. 1983. 54 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 1983.

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.

ROQUE, R. M. **Variação da anatomia e da densidade básica da madeira de *Gmelina arborea* em diferentes condições de clima e de manejo na Costa Rica**. 2005. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Esalq - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 2005

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

RUCHEL, A.R. Evolução do uso e valorização das espécies madeiráveis da Floresta Estacional Decidual do alto Uruguai. **Ciência Florestal**, v.13, n.1, p.153-166, 2003.

SALVADOR, J. do L.G. **Considerações sobre as matas ciliares e a implantação de reflorestamento misto nas margens de rios e reservatórios**. 2.ed. rev. atual. São Paulo: CESP, 15p. 1989.

SEBBENN, A. M.; SIQUEIRA, A. C. M. F.; VENCOSKY, R.; MACHADO, J. A. R. Interação genótipo x ambiente na conservação *ex situ* de *Peltophorum dubium*, em duas regiões do Estado de São Paulo. **Revista Instituto Florestal**, São Paulo, v.11, n.1, p.75-89, 1999.

SENN, S. N.; FREITAS, M. L. M.; ZANATTO, A. C. S.; MORAIS, E.; ZANATA, M.; MORAES, M. L. T.; SEBBENN, A. M. Variação e parâmetros genéticos em teste de progênies de polinização livre de *Peltophorum dubium* (Sprengel) taubert em Luiz Antonio-SP. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 95, p. 345–352, 2012.

SENIT J. F, BENDTESEN B. A, GALLIGAN W. L. Weak wood. **Journal of forestry**. v. 83, p.476-485. 1985.

SILVA, C. C. **Potencial de espécies nativas para a produção de madeira serrada em plantios de restauração florestal**. 2013. 87 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 2013.

SILVA L. D. **Melhoramento genético de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage visando a produção de madeira serrada em áreas de ocorrência de geadas severas** (Tese). Curitiba: Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná; 2008.

SILVA, J. C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira**. 2002. 148f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2002.

SILVA, J. G. M, DA; VIDAURRE, G. B.; ARANTES, M. D. C.; BATISTA, D. C.; SORANSO, D. R.; BILLO, D. F. Qualidade da madeira de mogno africano para a produção de serrados. **Scientia Forestalis**, Piracicaba. V. 44, n. 109. 2016.

SILVA, J. C.; OLIVEIRA, J. T. S.; TOMAZELLO FILHO, M.; KEINERT JR.; S.; MATOS, J. L. M. Influência da idade e da posição radial na massa específica da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 1, p. 13-22, jan./abr. 2004.

SOUZA, M. A. M. **Deformação Residual Longitudinal (DRL) causada pelas tensões de crescimento em clones de híbridos de *Eucalyptus***. 2002. 72 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

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

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, N. H. de.; MARCHETTI, M. E.; CARNEVALI, T. de. O.; RAMOS, D. D.; SCALON, S. de P. Q.; SILVA, E. F. da. Estudo nutricional (II): Eficiência nutricional em função da adubação com nitrogênio e fósforo. **Revista Árvore**, Viçosa, v.36, n.5, p. 803-812, 2012.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, Piracicaba, v. 29, p. 37-45, 1985.

TOMAZELLO FILHO, M.; CHAGAS, M. P.; ROQUE, R. M. **Manual de aplicação de densitometria de raios-X em amostras de madeira, CRAD e CERD**. Piracicaba: ESALQ, 32 p. 2005.

TRIANOSKI, R. **Avaliação da qualidade da madeira de espécies de *Pinus* tropicais por meio de métodos convencionais e não destrutivos**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). 2012. 553 p. Universidade Federal do Paraná. Paraná, 2012.

TRUGILHO, P.; SILVA, D. da. Influência da temperatura final de carbonização nas características físicas e químicas do carvão vegetal de jatobá (*Himenea courbaril* L.) **Scientia Agraria**. Piracicaba, v. 2, n. 27, 2004.

TRUGILHO, P. F. **Tensão de crescimento em árvores vivas de clones de *Eucalyptus* spp. e de *Eucalyptus dunnii* Maiden e propriedades de sua madeira**. 2005. 123f. Tese (Pós Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

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. de; SORAGI, L. de C.; ANDRADE, C. R. Deformação residual (DRL) e tangencial (DRT) em seis clones de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 279-286, 2006.

TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S. C. S.; LIMA, J. T.; PÁDUA, F. A.; SOUZA, M. A. M. Deformação residual longitudinal (DRL) e sua relação com as características de crescimento da árvore em clones de *Eucalyptus*. **Cerne**, v.13, n.2, p. 130-137, 2007.

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.

VALENCIA, J.; HARWOOD, C.; WASHUSEN, R.; MORROW, A.; WOOD, M.; VOLKER, P. Longitudinal growth strain as a log and wood quality predictor for plantation-grown *Eucalyptus nitens* sawlogs. **Wood Science and Technology**, v.45, n.1, p. 15-34, 2011.

VENTURIN, N.; DUBOC, E.; VALE, F.R.; DAVIDE, A.C. Adubação mineral do angico-amarelo (*Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.3, 1999.

VIDAURRE, G. P.; da SILVA, A. N.; ROCHA, J. D. S.; BRITO, E. O. Produção de chapas de partículas de madeira de duas espécies nativas da mata atlântica e suas combinações. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 235 – 242, 2004.

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.

VIDAURRE, G.; LOMBARDI, L. R.; OLIVEIRA, J. T. S.; ARANTES, M. D. C. Lenho juvenil e adulto e as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, Seropédica-RJ, v. 18, n.4, p.469-480, 2011.

VIVIAN, M. A.; MODES, K. S.; BELTRAME, R.; SOUZA, J. T. de; SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R. Propriedades físico-mecânicas da madeira de canafístula aos 10 anos de idade. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n.5, p.1097-1102, mai, 2010.

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

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

ZOBEL, B. Wood quality from fast-grown plantations. **Tappi, Atlanta**, v. 64, n. 1, p. 17-74, 1981.

ZOBEL, J. B.; BUJTENEN, J.P. **Wood variation: its causes and control**. New York: Springer-Verlag, 363p. 1989.

* * *