



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

BRUNELA POLLASTRELLI RODRIGUES

**QUALIDADE DO LENHO DE ÁRVORES DE CLONE DE *Eucalyptus grandis* X
E. urophylla SOB ESTRESSE ABIÓTICO E O IMPACTO NA PRODUÇÃO DE
CELULOSE**

JERÔNIMO MONTEIRO-ES
FEVEREIRO - 2013

BRUNELA POLLASTRELLI RODRIGUES

**QUALIDADE DO LENHO DE ÁRVORES DE CLONE DE *Eucalyptus grandis* X
E. urophylla SOB ESTRESSE ABIÓTICO E O IMPACTO NA PRODUÇÃO DE
CELULOSE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira
Coorientador: Profa. Dra. Graziela Baptista Vidaurre

JERÔNIMO MONTEIRO-ES

FEVEREIRO – 2013

Dissertação 0066

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

R696q Rodrigues, Brunela Pollastrelli, 1986-
Qualidade do lenho de árvores de clone de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* sob estresse abiótico e o impacto na produção de celulose /
Brunela Pollastrelli Rodrigues. – 2013.
90 f. : il.

Orientador: José Tarcísio da Silva Oliveira.

Coorientadora: Graziela Baptista Vidaurre.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Eucalipto. 2. Madeira - Qualidade. 3. Celulose. 4. Indústria madeireira. 5. Madeira – Anatomia. I. Oliveira, José Tarcísio da Silva. II. Vidaurre, Graziela Baptista. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. IV. Título.

CDU: 630

**QUALIDADE DO LENHO DE ÁRVORES DE CLONE DE *Eucalyptus grandis*
X *E. urophylla* SOB ESTRESSE ABIÓTICO E O IMPACTO NA PRODUÇÃO
DE CELULOSE**


Brunela Pollastreli Rodrigues

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

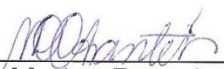
Aprovada em 25 de Fevereiro de 2013.



Prof. Dr. Mario Tomazello Filho
Esalq/USP
Membro Externo



Dr. Jupiter Israel Muro Abad
FIBRIA
Membro Externo



Profª. Drª. Marina Donaria Chaves
Arantes
UFES
Membro Interno



Profª. Drª. Graziela Baptista Vidaurre
UFES
Coorientadora



Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira
UFES
Orientador

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho não teria sido possível sem a contribuição generosa de diversas pessoas e instituições, aos quais sou profundamente agradecida.

AGRADEÇO:

Em primeiro lugar, e acima de tudo, a Deus, fonte de força inesgotável, minha luz e sustentação.

A minha família, base de tudo. A minha mãe Margarete, minha amiga, com quem sempre contei em todas as decisões da minha vida. Sou grata pelo exemplo de força e determinação. E aos meus avós Miguel e Valdira agradeço pelo afeto, preocupação e pelo exemplo de vida.

A minha família Alegrense, que me apoiou nesta caminhada de vida acadêmica, em especial aos Tios Lastênio e Filinha, agradeço pela acolhida, pela preocupação diária, pela confiança, pelos conselhos e ensinamentos de vida. Agradeço também ao amor e carinho das tias Ana e Edna.

Aos demais familiares agradeço pelo incentivo, pelo amor e por compreenderem minha ausência em muitos momentos importantes.

A Universidade Federal do Espírito Santo pela estrutura e oportunidade a mim concedida de realizar a graduação e o mestrado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais pelo apoio prestado durante toda a realização do mestrado.

A CAPES pela bolsa concedida.

A Fibria Celulose S.A. pela doação do material de estudo e análises concedidas.

Ao prof^o José Tarcísio da Silva Oliveira pelo convívio ao longo desses quase 7 anos, com quem aprendi muito e me fez entender que com força de vontade, humildade e dedicação conseguimos alcançar nossos objetivos. Agradeço muito ao senhor pela oportunidade de desenvolver este trabalho, pela confiança, amizade, paciência, pelas trocas de ideias e pelo carinho especial. Enfim, agradeço pelo exemplo de professor/pesquisador que és e pelo conhecimento passado.

A prof^a Graziela Baptista Vidaurre pelo incentivo constante em evoluir nas pesquisas, pelas conversas sempre construtivas, pelo carinho e preocupação ao longo da pesquisa.

A prof^a Mariana Donária Chaves Arantes por aceitar participar da banca, pela troca de informações, pela cumplicidade de nossas conversas e por sua boa vontade em ajudar.

Ao pesquisador da empresa Fibria, Jupiter Israel Muro Abad um dos grandes promotores desta pesquisa, que desde o início não mediu forças para me auxiliar. Agradeço pela confiança, por sua boa vontade, pelo incentivo em realizar o estudo e ainda pelo ganho de informação que me proporcionou.

Ao prof^o Mário Tomazello agradeço a atenção dispensada, a boa vontade e as sugestões para melhoria do presente estudo.

Aos professores Wendel Andrade, Adair Regazzi, Humberto Fantuzzi, Diego Burak agradeço as discussões relacionadas à pesquisa.

Ao prof^o Roberto Cecílio Avelino pelo incentivo e atenção dispensada.

Aos professores do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira pelos ensinamentos de vida acadêmica.

Aos funcionários do Laboratório de Ciência da Madeira José Geraldo, Elecy e Roberto (Betinho) pelo auxílio no preparo das amostras, pelas informações passadas e pela amizade. Aos funcionários do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Calebe, Valquíria, Elizângela e Dona Marise agradeço pelo apoio e amizade.

Ao proprietário da Fazenda Papagaio (senhor Tarcísio) e ao seu caseiro (senhor Gilson) pela receptividade durante as coletas.

Na empresa Fibria, agradeço:

Ao pesquisador Braz Demuner pelo direcionamento da pesquisa e conselhos a parte.

Ao pesquisador Sebastião Fonseca, pelo apoio no direcionamento da coleta de solo.

Ao Sebastião Oswaldo da Produção e Suprimento de Madeira.

Ao analista de fomento florestal Rodrigo Sander.

Aos pesquisadores Reginaldo Mafia e Rodolfo Loss.

Ao Gilmar Mattedi agradeço por me receber sempre muito bem na área laboratorial do Centro de Tecnologia e aos analistas de pesquisa, do Centro de Tecnologia da Fibria Celulose S.A., em especial ao Helder, Francisco (FEM), Marcelo, Renato, Fátima, Jocemir, Sebastião, Bruno, Agliberto, Mário, Rita, Jaqueline. Arthur e aos Roberto's pelo auxílio prestado nas análises laboratoriais.

Ao Edson Pereira e Eduardo Vieira pelo apoio logístico e técnico nas coletas realizadas durante o mestrado. E aos analistas de pesquisa de campo, pelo auxílio prestado durante a realização das coletas de solo e madeira e ainda pelo direcionamento das mesmas para análise: Júlio Cesar, Edmundo, Joel e Getúlio (aprendi muito com vocês em campo).

Na Esalq/ Piracicaba, agradeço:

Ao profº Mário Tomazello Filho pela atenção dispensada na realização das análises de raios-X e troca de informações a cerca da técnica utilizada.

Ao pessoal do LAIM, em especial a técnica de laboratório Maria e aos alunos de pós-graduação Priscila, Angel, Vinícius, Marcos, Matheus, Alejandro e Alisson pela receptividade.

Ao Mário Dobner Jr., pelo auxílio no preparo das amostras.

Ao Carlos, Juan Carlos e Pablo, anfitriões em Piracicaba.

Aos irmãos que escolhemos:

A Daniele, minha amiga-irmã, agradeço pela amizade, pela paciência, e por tornar meus dias corridos, muitas vezes em boas conversas.

Ao Wesley (Monge) pelo auxílio na montagem do mapa da área de estudo e pelo carinho especial durante todo esse tempo de convivência.

Ao Rafael L. Braz que mesmo distante, mostrou-se um amigo presente.

Aos queridos amigos Huezer, Flávio, Thiago Leite, Rafael Bridi, Jordão, Thaís, Flávia, Érico pelo carinho fraternal e pelos momentos de descontração.

Aos colegas do Laboratório de Ciência da Madeira pela convivência e pela troca de ideias durante a realização de nossas pesquisas.

Aos demais colegas do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da UFES pelos momentos de troca de informação e confraternização. E a todos os sorrisos e gestos de amizade encontrados no decorrer dessa caminhada.

BIOGRAFIA

Brunela Pollastrelli Rodrigues, filha de José Januário Rodrigues (*in memoriam*) e Margarete Pollastrelli Rodrigues, nasceu na cidade de Fundão, estado do Espírito Santo, aos 26 dias de dezembro de 1986.

Estudou apenas em escolas públicas desde sua infância, cursando o ensino fundamental na Escola Prof^a Maria da Paz Pimentel no distrito de Timbuí, município de Fundão – ES e o ensino médio no Centro Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo (atual IFES), na cidade de Colatina – ES.

Em 2005, antes de ingressar na Universidade fez o curso pré-vestibular no Projeto Universidade para Todos, oferecido pela Universidade Federal do Espírito Santo, na cidade de Vitória – ES.

Em março de 2006 ingressou no curso de Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Espírito Santo (Ufes), na cidade de Alegre – ES.

Em fevereiro de 2011 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, desenvolvendo sua pesquisa na linha de Tecnologia de Produtos Florestais, obtendo o título de mestre em Ciências Florestais em fevereiro de 2013.

“Um homem precisa viajar. Por sua conta, não por meio de histórias, imagens, livros ou TV. Viajar por si, com seus olhos e pés, para entender o que é seu. Para um dia plantar suas próprias árvores e dar-lhes valor. Conhecer o frio para desfrutar do calor. E o oposto. Sentir a distância e o desabrigo para estar bem sob o próprio teto. Um homem precisa viajar para lugares que não conhece, para quebrar essa arrogância que nos faz ver o mundo como imaginamos e não simplesmente como ele é ou pode ser. Que nos faz professores e doutores do que não vimos, quando deveríamos ser alunos, e simplesmente ir ver. (...)

É preciso questionar o que se aprendeu. É preciso ir tocá-lo”.

Trecho do livro: Mar sem fim (Amyr Klink).

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores médios dos teores de cerne e alburno para árvores de híbrido natural de <i>Eucalyptus grandis</i> que cresceram em duas localidades do Espírito Santo e uma localidade de Minas Gerais	11
Tabela 2. Morfologia das fibras de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i>	11
Tabela 3. Expressões para cálculo dos índices de qualidade das fibras para produção de papel.....	31
Tabela 4. Composição das amostras utilizadas na polpação para o material genético aos 42 meses de idade.....	35
Tabela 5. Médias dos valores referentes à textura do solo no local do plantio com árvores do híbrido clonal de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> em maior e menor grau de estresse	38
Tabela 6. Médias dos valores de micronutrientes para o solo onde ocorreu maior e menor grau de estresse nas árvores de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i>	39
Tabela 7. Valores médios da fertilidade dos solos com árvores do híbrido clonal de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> em maior e menor grau de estresse.....	41
Tabela 8. Valores médios das variáveis dendrométricas para o híbrido clonal de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> aos 42 e 57 meses de idade	42
Tabela 9. Percentuais médios de casca, cerne e alburno e relação cerne/alburno para as árvores de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> aos 57 meses de idade.....	43
Tabela 10. Valores médios para Diâmetro Tangencial de Vasos (DTV) em μm e Frequência de Vasos (FV) em n° de vasos/ mm^2 para o lenho das árvores de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> aos 57 meses de idade.....	45
Tabela 11. Valores médios dos parâmetros mensurados das fibras (Comprimento de Fibra (C), Largura da Fibra (L), Diâmetro do Lume (DL) e Espessura de Parede (EP) para o lenho das árvores de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> aos 57 meses de idade nas duas condições de crescimento	46
Tabela 12. Valores dos índices de qualidade de fibras do lenho das árvores de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> aos 57 meses de idade em duas situações de crescimento	47
Tabela 13. Valores médios de densidade básica para as árvores de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> em dois formatos de amostras: cunha e bagueta	49
Tabela 14. Valores médios de densidade básica do lenho das árvores de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> aos 57 meses de idade nas duas situações de crescimento	50
Tabela 15. Valores médios de densidade básica de cavacos do lenho das árvores de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> aos 57 e aos 42 meses de idade nas duas situações de crescimento	51
Tabela 16. Densidade aparente média, mínima e máxima do lenho das árvores de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> aos 57 meses de idade	57

Tabela 17. Valores médios para extrativos, lignina e pentosanas para árvores de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> aos 42 e 57 meses de idade.....	58
Tabela 18. Valores médios das variáveis de polpação CA – Carga Alcalina (%), T°C – Temperatura (°C), RA – Residual de Álcali, RD – Rendimento Depurado (%) e CEA – Consumo específico aparente (m ³ /t _{sa}).para madeira de árvores aos 42 meses <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> nas duas situações de crescimento	60
Tabela 19. Valores médios das variáveis de polpação CA – Carga Alcalina (%), T°C – Temperatura (°C), RA – Residual de Álcali, RD – Rendimento Depurado (%) e CEA – Consumo específico aparente (m ³ /t _{sa}) para composição de madeira de árvores aos 42 meses <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> com maior grau de estresse e um mix de cozimento	62
Tabela 20. Valores médios das variáveis de polpação CA – Carga Alcalina (%), T°C – Temperatura (°C), RA – Residual de Álcali, RD – Rendimento Depurado (%) e CEA – Consumo específico aparente (m ³ /t _{sa}) para madeira de árvores aos 57 meses de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> nas duas situações de crescimento	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Produtividade média das florestas de rápido crescimento ($m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$) em quatro países. (Fonte: Pöyry. Adaptado modificado por Bracelpa, 2012).	7
Figura 2. Localização da área de estudo. (Fonte: Limites municipais – IBGE/ Aerofoto – Google)	18
Figura 3. Valores de precipitação mensal – Precp (mm), temperatura média – Tmed ($^{\circ}C$), temperatura mínima – Tmin ($^{\circ}C$) e temperatura máxima – Tmax ($^{\circ}C$) para a área de estudo. Seta em vermelho: data do plantio do povoamento.....	19
Figura 4. Plantio com menor (A) e maior (B) grau de estresse abiótico, respectivamente.	20
Figura 5. Esquema de amostragem das árvores de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> aos 42 meses de idade com maior grau de estresse abiótico (A) e com menor grau de estresse abiótico (B).	21
Figura 6. Esquema de amostragem das árvores de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> aos 57 meses de idade com maior grau de estresse abiótico (A) e com menor grau de estresse abiótico (B) e coleta de solo no local de estudo.	22
Figura 7. Sequência adotada para coleta de solo. A – Trados e baldes; B – Coleta realizada em profundidade; C e D – Sacos plásticos identificados e baldes usados para homogeneização do solo; E e F – Abertura de trincheiras para visualização do perfil.	24
Figura 8. Coleta das árvores aos 42 meses de idade: (A) medição do DAP; (B) medição das alturas; (C) retirada dos discos no DAP; (D) discos identificados.	26
Figura 9. Coleta das árvores aos 57 meses de idade: (A) medição do DAP; (B) medição do fuste para retirada dos discos, toretes e para cubagem da tora; (C) retirada dos toretes e discos; (D e E) toretes e discos identificados.	27
Figura 10. Disco com a demarcação das porções de cerne, alburno e casca.	27
Figura 11. Esquema de amostragem utilizado para avaliação da qualidade da madeira do híbrido clonal de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> aos 42 e 57 meses.	29
Figura 12. Local de retirada das amostras no disco B para determinação da densidade básica aos 57 meses de idade.....	31
Figura 13. Preparo de amostras para leitura de raios X. A – Disco polido com os raios demarcados; B – Serra dupla utilizada para retirada das amostras para leitura; C – Amostras retiradas na sala de aclimação; D – Equipamento de raios X com suporte preto utilizado para encaixar as amostras para leitura; E – Perfil de leitura de dados obtido pelo programa.	33
Figura 14. Mapa exploratório – Reconhecimento de solos do município de Teixeira de Freitas, Bahia.....	37
Figura 16. Perfis de densidade aparente para o lenho das árvores 1 a 6 de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> com menor grau de estresse.....	52

Figura 17. Perfis de densidade aparente para o lenho das árvores 7 a 12 de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> com menor grau de estresse.....	54
Figura 18. Perfis de densidade aparente para o lenho das árvores 13 a 18 de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> com maior grau de estresse.	55
Figura 19. Perfis de densidade aparente para o lenho das árvores 19 a 24 de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> com maior grau de estresse.	56

LISTA DE QUADRO

Quadro 1. Variáveis quantificadas na análise de solo.....	25
Quadro 2. Lista das análises, com suas respectivas metodologias e local de realização	28
Quadro 3. Normas utilizadas para as análises químicas da madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> aos 42 e 57 meses de idade	34

SUMÁRIO

RESUMO	xvi
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. OBJETIVO GERAL	3
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. GÊNERO <i>Eucalyptus</i>	5
2.2. IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DA MADEIRA DE EUCALIPTO.....	6
2.2.1. Eucalipto como matéria prima para produção de celulose.....	6
2.2.2. O efeito dos fatores abióticos no crescimento do eucalipto	8
2.3. QUALIDADE DA MADEIRA PARA PRODUÇÃO DE PASTA CELULÓSICA.....	10
2.3.1. Características dendrométricas	10
2.3.2. Anatomia da madeira.....	11
2.3.3. Massa específica aparente (densidade).....	12
2.3.4. Química da madeira	15
2.3.5. Polpação	16
3. MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1. PROCEDÊNCIA DAS ÁRVORES E DESENHO EXPERIMENTAL PARA AMOSTRAGEM.....	18
3.2. COLETA DO SOLO E ANÁLISES	22
3.3. CARACTERIZAÇÃO DENDROMÉTRICA DAS ÁRVORES.....	25
3.4. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA MADEIRA.....	28
3.4.1. Anatomia da madeira.....	29
3.4.2. Massa específica aparente (densidade).....	31
3.4.2.1. Densidade básica – cunha e bagueta	31
3.4.2.2. Densidade básica de cavacos	32
3.4.3. Densidade aparente (raios x).....	32
3.4.4. Análises químicas.....	33
3.4.5. Polpação	34
3.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1. SOLO.....	37
4.2. CARACTERIZAÇÃO DENDROMÉTRICA DAS ÁRVORES.....	42
4.3. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA MADEIRA.....	45
4.3.1.1. Anatomia da madeira e índices indicativos de qualidade de fibras para produção de papel	45

4.3.2. Massa específica aparente (densidade)	49
4.3.2.1. Densidade básica (cunha e bagueta).....	49
4.3.2.2. Densidade básica de cavacos.....	50
4.3.2.3. Densidade aparente por densitometria de raios-X.....	52
4.3.3. Química da madeira	58
4.3.4. Polpação	60
5. CONCLUSÕES.....	64
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66

RESUMO

RODRIGUES, Brunela Pollastrelli. **Qualidade do lenho de árvores de clone de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* sob estresse abiótico e o impacto na produção de celulose.** 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES, Orientador: Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira. Coorientadora: Profa. Dra. Graziela Baptista Vidaurre.

A grande utilização da madeira de plantações de eucalipto no Brasil é explicada por tal gênero apresentar boa adaptação e produtividade às diversas características edafoclimáticas aqui existentes, que são potencializados pelos estudos e pesquisas na área de melhoramento e manejo florestal. Apesar dos avanços nas pesquisas em melhoramento e manejo do eucalipto, ainda existem alguns riscos que não podem ser previstos no momento da implantação florestal. Estes riscos são relacionados aos fatores ambientais e ao local de crescimento, denominado estresse abiótico, que pode afetar às propriedades da madeira requerida para produzir pasta celulósica. O objetivo do presente trabalho foi estudar árvores em dois estágios de desenvolvimento (42 e 57 meses) provenientes do Sul da Bahia, que cresceram sob efeito de estresse abiótico e conhecer o efeito das condições de estresse sobre a qualidade da madeira produzida. Para os resultados referentes à qualidade da madeira, pode-se observar que o estresse influenciou negativamente nas variáveis dendrométricas, afetando diretamente no volume de madeira produzido pelas árvores. O estresse também gerou reflexos negativos nas propriedades anatômicas, químicas e nos parâmetros de polpação. Nos valores relacionados à densidade, pode-se observar que árvores não tiveram influência do estresse na densidade básica e aparente da madeira por raios-X ao nível do DAP. Entretanto, a densidade básica de cavacos das árvores aos 57 meses de idade foi menor nas árvores que cresceram sob influência do estresse.

Assim, as árvores provenientes do estresse abiótico apresentaram um crescimento reduzido, piores propriedades de madeira e polpação, sendo necessário que a mesma seja mais bem distribuída na indústria para que o processo de produção de celulose não seja prejudicado, tanto no rendimento quanto na qualidade da celulose produzida.

Palavras-chave: Madeira de eucalipto, estresse de crescimento, produção de celulose, qualidade da madeira.

ABSTRACT

RODRIGUES, Brunela Pollastrelli. **Wood quality of *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* tree clones under abiotic stress and the impact on pulp production.** 2013. Dissertation (Master's degree in Forest Sciences) – Federal University of Espírito Santo, Alegre-ES, Advisor: Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira. Co-advisor: Prof. Dr. Graziela Baptista Vidaurre.

The elevated usage of wood from eucalyptus plantations in Brazil is explained because such genus presents good adaptation and productivity to the various edafoclimatic characteristics here existent, which are potentialized by the studies and researches on the breeding and forest management area. In spite of the advances on the breeding researches and eucalyptus management, there are still some risks that cannot be predicted at the moment of forest implantation. These risks are related to the environment factors and to the growing local, denominated abiotic stress, which may affect the wood properties that are required to produce cellulose paste. The objective of this work was to study trees in two development stages (42 and 57 months) proceeding from Southern Bahia, which grow under abiotic stress effect and to know the effect of the stress conditions upon the quality of produced wood. For the studies regarding the wood quality, it can be observed that the stress influenced the dendrometric variables negatively, directly affecting the wood volume produced by the trees. The stress also generated negative reflexes on the anatomic, chemical properties and on the pulping parameters. On the values related to density, it can be observed that the trees did not have influence of stress on the basic and apparent density of wood by X-rays to the DBH level. However, the basic density of tree wood-shavings in the 57 months of age was smaller on trees which grow under stress influence.

This way, the trees proceeding from the abiotic stress presented a reduced growing, worst wood properties and pulping, and it is necessary that this one must be better distributed on the industry so that the process of cellulose production must not be prejudiced, either on the revenue or on the quality of produced cellulose.

Key words: Eucalyptus Wood, growing stress, cellulose production, wood quality.

1. INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro é caracterizado por apresentar grande vocação para produção de florestas econômicas. De acordo com dados do Anuário Estatístico da Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas – ABRAF (2012), o país conta com mais de 7 milhões de hectares de florestas plantadas, em que aproximadamente 50% dessas áreas são ocupadas por florestas do gênero *Eucalyptus*, que suprem as grandes demandas das indústrias de celulose e papel do país.

A grande utilização dos plantios florestais brasileiros de eucalipto é explicada por tal gênero possuir boa adaptação e produtividade às diversas características edafoclimáticas aqui existentes, juntamente com os esforços em estudos e pesquisas na área de melhoramento e manejo florestal. Em outras palavras, a grande utilização desse gênero está relacionada a uma soma de fatores, como as condições de solo, topografia, recursos hídricos e clima, que em conjunto com a capacidade tecnológica florestal, favorecem a produção de madeira em tempo e área de cultivo menores, resultando em rendimento maior a um menor custo por área.

As pesquisas em melhoramento florestal têm por objetivo trabalhar em busca de materiais genéticos que consigam atender ao quesito produtividade, ou seja, que apresentem bom crescimento e desenvolvimento, e ainda que produzam madeiras com qualidade suficiente para atender às demandas fabris e do cliente final. Entretanto, Assis e Mafia (2007) relataram que uma das limitações encontradas no melhoramento florestal para produção da polpa celulósica é justamente conseguir conciliar estas duas características (produtividade e qualidade). O melhorista florestal se depara muitas vezes com espécies produtivas, mas limitadas na qualidade da madeira para atender à produção de celulose.

Apesar do avanço na clonagem do eucalipto, ainda existem alguns riscos que não podem ser previstos no momento da implantação florestal. Estes são relacionados aos fatores ambientais e ao local de crescimento, como por exemplo, o estresse abiótico, que pode afetar a qualidade das propriedades da madeira requerida para produzir pasta celulósica.

A partir de 2007 alguns plantios florestais localizados no norte do estado do Espírito Santo e no Sul da Bahia, pertencentes a diferentes empresas produtoras de celulose, começaram a apresentar problemas de crescimento das árvores, causados por estresse abiótico. Os sintomas mais comuns observados em campo eram a morte do broto apical, queda das folhas, bifurcação da copa, superbrotação lateral e rachaduras na casca, que dependendo da intensidade gerava a morte de árvores isoladas ou em grandes quantidades de indivíduos próximos.

Vários clones do gênero *Eucalyptus* pertencente às empresas foram afetados por tal fenômeno. Entretanto, um clone em especial, híbrido de *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla*, de uma empresa produtora de celulose do estado do Espírito Santo foi atingido em maior grau e gerou interesse para desenvolver a pesquisa relacionada com a qualidade da madeira, uma vez que havia uma grande área plantada com o mesmo.

De acordo com o histórico da empresa, o híbrido clonal relatado foi selecionado para o programa de melhoramento florestal no ano de 1993 e em 2002 foi recomendado para plantios comerciais da empresa, uma vez que apresentava variáveis relacionadas ao crescimento e a qualidade da madeira dentro dos padrões de recomendação usado no programa de melhoramento da empresa. Dentre as variáveis pode-se destacar a densidade básica da madeira de $0,52 \text{ g.cm}^{-3}$ e um incremento médio anual aos 7 anos de $46,5 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Em 2008 e 2009 houve o diagnóstico do problema com esse clone e por meio de levantamento realizado nas áreas afetadas verificou-se que cerca de 50% a área plantada com o clone estava afetada pelo estresse abiótico, sendo às áreas com plantios localizadas no estado da Bahia às mais prejudicadas (com 90% da área) (FIBRIA CELULOSE S.A., 2010).

Problemas ocorridos por estresse da planta são prejudiciais a todo processo de produção de pasta celulósica, pois podem causar problemas de ordem quantitativa e qualitativa no processo fabril. Por não serem previsíveis, acontecimentos de ordem ambiental acabam por afetar a logística e o abastecimento de madeira na indústria, tanto por não haver madeira disponível para corte na época programada, quanto em diminuição de rendimentos em celulose, uma vez que se trata de um material com problemas de crescimento.

Em relação aos problemas qualitativos, pode-se citar a perda de qualidade da celulose, pois em condições adversas de crescimento, a árvore tende a produzir maiores quantidades de lignina e extrativos, que funcionam como uma forma de defesa natural. O aumento dos teores desses componentes da madeira consomem mais reagentes químicos no processo, diminuindo o rendimento de celulose e necessitando que as fibras sejam fortemente atacadas, prejudicando assim, algumas propriedades relacionadas à qualidade da polpa celulósica. Tais propriedades também podem ser mensuradas por meio da estrutura anatômica e das variáveis relacionadas a química e física da madeira.

Dessa forma, conhecer a qualidade da madeira de clones que cresceram em condições adversas auxiliará na tomada de decisão, de maneira a indicar o melhor uso desta madeira na indústria de fabricação de pasta celulósica e ainda direcionar as estratégias de melhoramento florestal pelo melhor conhecimento da interação genótipo e ambiente.

1.1. OBJETIVO GERAL

O presente estudo teve por objetivo geral verificar a influência do estresse abiótico de crescimento na qualidade da madeira produzida por um clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* para produção de polpa celulósica.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar o local de crescimento das árvores em relação às propriedades físicas e químicas do solo;
- Verificar se existe diferença das propriedades da madeira e polpa celulósica de árvores com maior e menor grau de estresse em árvores com 42 meses de idade;
- Avaliar o impacto da madeira com maior grau de estresse num mix (composição de diferentes madeiras);
- Estipular o percentual de uso da madeira com maior grau de estresse no mix (composição de diferentes madeiras), sem causar grandes impactos ao processo industrial de polpação celulósica;

- Calcular o percentual de cerne, alburno, casca de árvores com maior e menor grau de estresse em árvores com 57 meses de idade;
- Estimar o volume de madeira das amostras de árvores com maior e menor grau de estresse em árvores com 57 meses de idade;
- Verificar as propriedades da madeira e polpa celulósica de árvores com maior e menor grau de estresse em árvores com 57 meses de idade;

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. GÊNERO *Eucalyptus*

As florestas plantadas possuem importância ímpar no suprimento de matéria prima para a sociedade. Em se tratando de florestas plantadas, sem dúvidas o gênero *Eucalyptus* é o mais utilizado em todo o mundo. Estima-se que a área ocupada por florestas deste gênero ultrapassam os 20 milhões de hectares distribuídos diversas zonas do globo terrestre, como em países de clima tropical, subtropical e temperado (REJMÁNEK e RICHARDSON, 2011).

O gênero *Eucalyptus* é considerado um dos mais importantes gêneros arbóreos por abranger um grupo de plantas com mais de 600 espécies, em sua maioria nativas da Austrália, com indivíduos variando desde pequenos arbustos até as mais altas árvores do planeta (BERTOLA, s.d.). As madeiras de eucaliptos que cresceram na Austrália, seu lugar de origem, estão sendo utilizadas com diversos fins a cerca de 200 anos em várias partes do mundo. Desde usos mais simples até os mais sofisticados, no decorrer destes anos houve um acúmulo de informações a respeito das diferentes propriedades de suas madeiras.

Tal gênero vem sendo largamente plantado em todo o mundo, devido a características interessantes como rápido crescimento e pequenos ciclos de rotação. Sua capacidade produtiva, adaptabilidade a diversos ambientes e, sobretudo, a expressiva diversidade de espécies que possui, tornando possível atender os requisitos tecnológicos dos mais diversos segmentos da produção industrial madeireira, são os principais atributos que tornam esse gênero importante como fonte de matéria prima fabril (ASSIS, 1999).

Outra característica que faz desse gênero ser amplamente empregado é a amplitude de sua densidade básica, que de maneira geral varia de 0,40 a 1,20 g/cm³, ou seja, vai desde madeiras mais leves, passando por madeiras de média densidade, até às mais pesadas (REMADE, 2003) e ainda é caracterizado por apresentar uma constituição anatômica muito homogênea. Tal aspecto torna as madeiras do gênero *Eucalyptus* uma grande fonte de matéria prima para as indústrias de celulose, movelaria, construção civil, carvão vegetal, entre outras do setor madeireiro.

Em relação às florestas de eucalipto de alta produtividade o Brasil tem se destacado, uma vez que é considerado líder na inovação e adoção de tecnologias para o melhoramento de *Eucalyptus* (GRATTAPAGLIA, s.d.), dominando a tecnologia de hibridação e clonagem. Dentre os híbridos, o mais utilizado para a produção de celulose está o de *Eucalyptus grandis* (rápido crescimento e alta produtividade) com o *Eucalyptus urophylla* (maior rusticidade, resistência e maior densidade), comumente conhecido como “urograndis”.

2.2. IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DA MADEIRA DE EUCALIPTO

2.2.1. Eucalipto como matéria prima para produção de celulose

A madeira de eucalipto atende a demanda por biomassa lenhosa com propriedades tecnológicas específicas para diversos setores industriais, mas sem dúvidas possui importância econômica mundial para as indústrias de produção de celulose e papel. No Brasil, dos quase 5 milhões de hectares ocupados por eucalipto, cerca de 3,5 milhões são destinadas as indústrias de celulose e papel (ABRAF, 2012). Sua grande utilização na fabricação de pasta celulósica está relacionada a uma soma de fatores, como as condições de solo, topografia, recursos hídricos e clima, que em conjunto com capacidade tecnológica florestal, favorecem a produção de madeira em tempo e área de cultivo menores, resultando em rendimento maior a um menor custo por área.

Graças às vantagens comparativas, o Brasil consagrou-se, como o maior produtor mundial de fibra curta de eucalipto. Tal destaque deve-se aos estudos e pesquisas na área de melhoramento florestal, que permitiram o uso de algumas espécies de *Eucalyptus* aptas aos plantios comerciais. Dentre as técnicas que alavancaram o uso do eucalipto como matéria prima para indústria de celulose está a clonagem. Esse processo é ideal para maximizar os benefícios da hibridação no contexto de formação de florestas altamente produtivas e de qualidade requeridas para finalidades industriais (ASSIS e MAFIA, 2007).

As árvores de eucalipto possuem ótimos aspectos silviculturais, pois em geral, possuem excelente crescimento (Figura 1), são de fácil plantio e com baixa necessidade de poda, pois crescem de maneira retilínea e necessitam de pouco espaçamento em comparação às demais árvores de fibra curta (SUZANO, 2009).

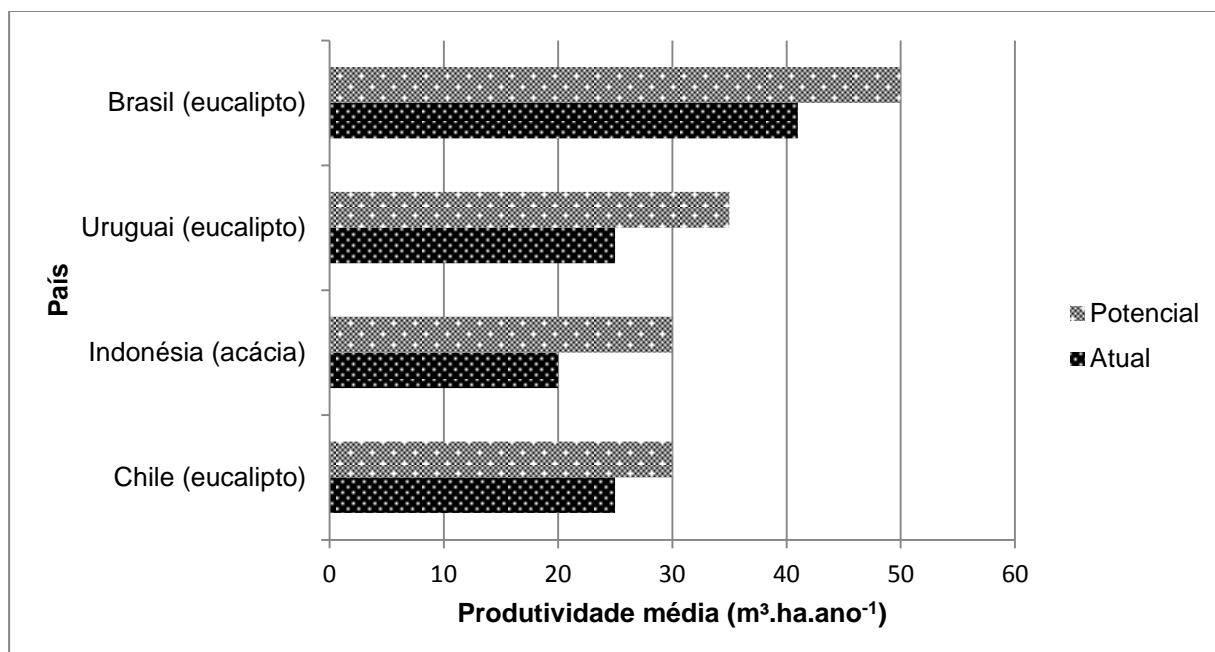


Figura 1. Produtividade média das florestas de rápido crescimento ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$) em quatro países. (Fonte: Pöyry. Adaptado modificado por Bracelpa, 2012).

Além das taxas de crescimento requeridas pela indústria, a madeira de eucalipto também atende aos parâmetros de qualidade da madeira para produção de celulose e papel, uma vez que apresenta diversas especificações na fabricação de papéis de fibra curta, como a formação da folha, a opacidade, a lisura, maciez, e entre outras (FOELKEL, 2009). A celulose de eucalipto é utilizada para fabricação de papéis finos, como guardanapo, papel toalha, papel higiênico, papéis para imprimir e escrever entre outros.

As empresas nacionais líderes no setor de papel e celulose contam com as maiores produtividades florestais do mundo, chegando a um volume de madeira em torno de $300\text{-}500\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$ em rotações de 5 a 10 anos, produzindo madeira homogênea e de alta qualidade para produção de pasta celulósica (GRATTAPAGLIA, 2001 e NUTTO, 2007).

Em consequência do maciço investimento feito, principalmente, pelas indústrias de celulose e papel, nos últimos 40 anos, o Brasil apresentou uma invejável evolução na produtividade das florestas de eucalipto, passando de $15\text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para uma média nacional em torno dos $45\text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Uma pesquisa realizada com os melhores clones de *Eucalyptus* cultivados no Brasil demonstrou a

elevada produtividade da eucaliptocultura nacional, tendo 20% dos clones atingido IMA (incremento médio anual) igual ou superior a $50 \text{ m}^3.\text{ha}.\text{ano}^{-1}$ e 70% dos clones apresentaram incrementos acima de $40 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (GOMIDE et al., 2005).

Atualmente, o Brasil ocupa a colocação de 4º maior produtor mundial de celulose, ficando atrás somente dos EUA, China e Canadá (BRACELPA, 2012), o que torna o setor o mais importante no cenário florestal, com importância significativa na geração de emprego, renda e impostos.

2.2.2. O efeito dos fatores abióticos no crescimento do eucalipto

Segundo Oda et al. (2007), muitos estudos com melhoramento de espécies florestais têm demonstrado que as interações entre materiais genéticos e diferentes ambientes possuem respostas diferenciadas às condições ambientais. Dessa maneira quando se pensa em estratégias de melhoramento de espécies, deve-se considerar a interação genótipo x ambiente, visando maior produtividade e utilizando materiais que apresentem maior capacidade de adaptação a diferentes locais.

Dentre os fatores que influenciam o crescimento das árvores de eucalipto, pode-se destacar aqueles relacionados à precipitação, temperatura e os de cunho nutricional. Quando algum desses se comporta de maneira inesperada ou inadequada, a planta poderá responder negativamente, refletindo no seu crescimento, geralmente, na forma de um estresse fisiológico. Esse tipo de estresse é definido como sendo um desvio significativo das condições ambientais ótimas para a vida da planta, sendo um fator externo que exerce influência desvantajosa na planta, pois induz mudanças e respostas em todos os níveis funcionais do organismo, os quais são reversíveis a princípio, mas podem se tornar permanente (LARCHER, 2000; TAIZ e ZEIGER, 2002).

As propriedades físicas e químicas do solo são influenciadas pelo material que deu origem ao solo e esses possuem influência direta sobre o crescimento das plantas. Entre os atributos do solo, aqueles relacionados aos aspectos físicos, pode-se destacar a textura. Essa propriedade física possui influência na capacidade de retenção de água e aeração.

Por exemplo, os solos de textura arenosa têm baixa capacidade de retenção de água, são fáceis de arar, possuem altas taxas de percolação e infiltração e são

bem drenados e aerados, em comparação com os solos de textura fina. Um solo franco, tendo geralmente densidade intermediária, boa agregação, boa taxa de infiltração e nenhum impedimento à drenagem, representa um solo com ótimas condições físicas, podendo-se esperar boas produções, se outros fatores da produção não forem limitantes (LETEY, 1985, citado por FAGERA e STONE, 2006).

Cada nutriente tem um papel específico no metabolismo das plantas, sendo que para as funções fisiológicas nutricionais, não podem ser substituídos por outro elemento (BALONI, 1979). Normalmente não é possível antever as consequências de diferentes condições edáficas no desenvolvimento das plantas. Sabe-se, porém, que essas diferenças podem resultar em perda de crescimento da floresta e redução da regeneração natural, bem como prejudicar ou impedir o desenvolvimento de mudas e até provocar a morte de árvores adultas (FROEHLICH et al., 1985; HILDEBRAND, 1994; HETSCH et al., 1994, citado por RIGATTO, DEDECEK e MATTOS, 2005). Esses mesmos autores, trabalhando com a influência dos atributos do solo sobre a produtividade de *Pinus taeda* concluíram que, os solos de textura mais argilosa, independentemente da classe a que pertenciam, propiciaram maiores produtividades de *Pinus taeda*.

Gava e Goncalves (2008) estudaram a relação dos atributos do solo e a qualidade da madeira para produção de celulose em plantio clonal de *Eucalyptus grandis* com idade próxima aos 7 anos e verificaram que para a situação do estudo o crescimento das árvores estava diretamente associado ao tipo de solo e classes de textura. Ainda nesse mesmo estudo, pode-se observar que a densidade básica da madeira ($0,44 - 0,45\text{g.cm}^{-3}$) variou pouco entre as classes de solo. Em se tratando das propriedades químicas da madeira, os autores verificaram que os valores médios de holocelulose, extrativos e lignina total apresentaram comportamentos diferentes, dependendo do tipo de solo e valores do DAP da árvore. Holocelulose e lignina total foram relacionadas ao tipo de solo e conteúdo de extrativos não variaram entre os tipos de solo e os valores DAP.

As propriedades químicas do solo também exercem influência direta no estabelecimento e desenvolvimento das plantas.

2.3. QUALIDADE DA MADEIRA PARA PRODUÇÃO DE PASTA CELULÓSICA

A qualidade da madeira requerida para produção de celulose deve ser avaliada de maneira dinâmica, levando em consideração não somente os aspectos relacionados com o crescimento volumétrico, mas também os relacionados às propriedades tecnológicas da madeira. Além da densidade básica da madeira, os estudos de caracterização de qualidade da madeira para produção de polpa celulósica devem envolver análises da constituição química da madeira, das características estruturais anatômicas e, também de grande importância, as características tecnológicas da transformação da madeira em polpa celulósica (GOMIDE, FANTUZZI NETO e REGAZZI, 2010).

2.3.1. Características dendrométricas

Na indústria de fabricação de celulose vários são os fatores inerentes a produção de madeira que a torna mais ou menos adequada para o processo de polpação. Sua adequação ao processo pode ser influenciada pelos percentuais de casca, cerne e alburno presentes no fuste das árvores. A porcentagem de casca, por exemplo, é considerada importante do ponto de vista florestal e industrial, podendo-se superestimar a produtividade na análise dos fustes de plantações florestais (OLIVEIRA et al., 1999).

Gonçalves et al. (2010) estudaram os parâmetros dendrométricos em um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* e salientaram a importância da quantificação do cerne e alburno, uma vez que maiores proporções de cerne, dificultam o processo de penetração de compostos químicos, devido às suas características anatômicas.

Oliveira et al. (2010) estudaram árvores de 64 meses de um clone de *Eucalyptus grandis*, que cresceram em três localidades, uma no estado Espírito Santo e duas no estado de Minas Gerais para produção de celulose e encontraram valores superiores para o percentual de alburno, como pode ser observado na Tabela 1. Tais valores são explicados pelas diferentes condições de crescimento encontradas em cada localidade.

Tabela 1. Valores médios dos teores de cerne e alburno para árvores de híbrido natural de *Eucalyptus grandis* que cresceram em duas localidades do Espírito Santo e uma localidade de Minas Gerais

Região	Área do disco (cm ²)	Teores (%)		Relação cerne/alburno
		Cerne	Alburno	
Domingos Martins-ES	183,42	20,93b	79,07b	0,31b
Mutum-MG	191,24	27,12ab	72,88ab	0,40ab
Aimorés-MG	209,42	33,44a	66,56a	0,65a

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Fonte: Oliveira et al. (2010).

2.3.2. Anatomia da madeira

A anatomia da madeira é uma das características mais importantes para a produção de polpa celulósica, uma vez que para fabricação de papel são necessários os elementos estruturais mais abundantes nas árvores de eucalipto que são as fibras. Barrichelo e Brito (1976) afirmam que a madeira de eucalipto possui uma composição fibrosa em torno de 65% e o comprimento desse elemento anatômico possui relação com as propriedades de resistência ao rasgo e as dobras duplas do papel (SANTOS, 2005).

Duarte (2007) estudando a morfologia das fibras de *E. urograndis* com 5 e 6 anos que cresceram em São Paulo e na Bahia, não encontrou diferenças significativas para tal característica (Tabela 2).

Tabela 2. Morfologia das fibras de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*

Espécies	C (mm)	L (µm)	DL (µm)	EP (µm)
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> (5 anos – São Paulo)	1,12	17,72	10,41	3,65
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> (5 anos – Bahia)	1,14	17,81	10,44	3,69
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> – (6 anos – São Paulo)	1,19	18,78	10,38	4,21

C: comprimento (mm); L: largura (µm); DL: diâmetro do lume (µm) e EP: espessura de parede (µm).

Fonte: Duarte (2007). Adaptado pelo autor.

Os elementos de vasos são muito importantes no processo de polpação, pois eles ajudam no processo de impregnação dos cavacos pelo licor, sendo muito importante que estes não estejam obstruídos por tilas, gomas, resinas ou ainda óleo-resinas (BURGER e RICHTER, 1991).

Na qualidade da madeira para a produção de papel, Foelkel (1978) afirma que vasos grandes e abundantes não são desejáveis na fabricação de papéis de imprimir e escrever. Tal fato pode ser explicado pelo defeito conhecido como “vessel pincking”. Entretanto, para papéis absorventes os vasos não são causadores de problemas.

Alzate (2004) trabalhando com a caracterização anatômica quantitativa da madeira de 5 clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* ao longo do fuste, encontrou valores para comprimento de fibra variando de variando de 650 a 1360 μ m e espessura de parede entre 3,22 a 7,28 μ m.

Braz (2011) estudando a madeira de dez clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com idade variando de 30 a 33 meses que cresceram na região do Vale do Rio Doce em Minas Gerais, encontrou valores médios de diâmetro de vasos de 105,71 μ m e frequência de 11,82 vasos/mm². O mesmo autor encontrou para os parâmetros de fibras valores variando de 943,71 a 1097,77 μ m para comprimento, de 17,68 a 19,87 μ m para largura, de 10,05 a 12,66 μ m para diâmetro do lume e a espessura de parede variando de 3,46 a 4,08 μ m.

Um estudo representativo foi realizado por Gomide et al. (2004) com o objetivo de estudar os principais clones de *Eucalyptus* das empresas produtoras de celulose kraft do Brasil. Para os parâmetros de fibras, estes autores encontraram um comprimento variando entre 0,95 a 1,07mm, com largura de 17,3 a 19,2 μ m e espessura de parede de 4,6 a 5,2 μ m.

2.3.3. Massa específica aparente (densidade)

Fonseca, Oliveira e Silveira (1996) estudando um conjunto de características para avaliar a “árvore industrial” puderam verificar que juntamente com o crescimento volumétrico e o rendimento do processo de polpação a densidade básica é uma propriedade muito importante e considerada de impacto no processo de polpação.

Em linhas gerais, madeiras com menores valores de densidade tendem a ser mais favoráveis à produção de polpa celulósica, uma vez que a necessidade de álcali para cozimento será menor, podendo apresentar melhores valores para rendimento depurado. Queiroz et al. (2004) realizaram um estudo com dois clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com densidades diferentes, o clone A com $0,447 \text{ g.cm}^{-3}$ e um clone B com uma densidade básica de $0,552 \text{ g.cm}^{-3}$. Os autores puderam concluir que o clone de menor densidade apesar consumir menos reagentes para seu cozimento apresentou um maior consumo específico de madeira, ao contrário do clone de maior densidade.

Em estudo realizado por Alzate (2004) com madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, a autora encontrou um intervalo de densidade básica média que varia de $0,48$ a $0,60 \text{ g.cm}^{-3}$ para árvores com idade de 8 anos.

Já em estudo recente realizado por Costa (2011), com árvores de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* que cresceram no Distrito Federal, foi possível constatar valores médios de densidade básica de $0,55 \text{ g.cm}^{-3}$ para árvores com 6 anos. Todavia, valores menores foram encontrados por Mauri (2010) estudando o mesmo híbrido clonal em mesma idade. A presente autora encontrou valores médios de densidade de $0,48 \text{ g/cm}^3$, mas que cresceram no estado de Minas Gerais. Já Mokfienski (2004) trabalhando com dois híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 5,5 anos, provenientes de Minas Gerais, encontrou valores médios de densidade básica diferentes. O clone 1 apresentou $0,421 \text{ g.cm}^{-3}$ enquanto o clone 2 apresentou $0,525 \text{ g.cm}^{-3}$.

Alzate, Tomazello Filho e Piedade (2005), estudando densidade básica da madeira de *E. grandis*, *E. saligna* e *E. urograndis* provenientes do estado de São Paulo com idade de 8 anos, encontraram valores médios de densidade básica bem próximos, sendo o maior valor para o híbrido clonal (Tabela 3).

Tabela 3- Valores médios de densidade básica da madeira de *E. grandis*, *E. saligna* e *E. urograndis* aos 8 anos de idade

Material	Densidade Básica (g/cm³)
<i>E. grandis</i>	0,46 (0,03) (7,47)*
<i>E. saligna</i>	0,47 (0,01) (2,40)
<i>E. urograndis</i>	0,49 (0,02) (4,87)

*Os valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão (g/cm³) e ao coeficiente de variação (%), respectivamente.

Fonte: Alzate, Tomazello Filho e Piedade (2005).

GOUVÊA et al. (2009) avaliaram a qualidade da madeira de clones de eucalipto aos 3 anos de idade plantados em 4 regiões de Minas Gerais e encontraram valores de densidade básica variando de 0,43 a 0,46 g/cm³.

Existe uma variação dos valores de densidade dentro das árvores, onde a mesma varia tanto no sentido longitudinal quanto no sentido medula-casca. Nesse sentido, a técnica de densitometria de raios X consegue, de forma bastante precisa, obter resultados das variações radiais da densidade aparente do lenho de árvores.

Por meio da avaliação do perfil radial de densidade da madeira por densitometria de raios X em clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 8 anos de idade, Alzate (2004) conseguiu dividir a densidade aparente das arvores estudadas em 3 modelos de variação. No primeiro ocorria um ligeiro aumento dos valores médios da densidade da madeira no sentido medula-casca, o segundo destacava valores de densidade aparente praticamente lineares da medula para casca e por último, verificou-se o terceiro padrão onde ocorria um aumento dos valores de densidade na região próxima à medula até cerca de 1,5cm, seguindo-se uma redução até cerca de 3,5-4,0cm e de posterior aumento em direção a casca.

Oliveira (2011) afirma em seu estudo realizado com árvores de *Eucalyptus grandis* que a técnica de densitometria de raios X possibilitou a análise precisa das variações radiais da densidade aparente do lenho. A mesma autora conclui nesse estudo um aumento da densidade do lenho no sentido medula-câmbio e ainda o lenho possuiu variações de densidade significativas, com valores entre 0.3-0.4 g/cm³ na região próxima à medula e 0.8-0.9 g/cm³ de densidade na região próxima ao

câmbio para a altura 1, e com valores entre 0.4-0.5 g/cm³ na região próxima à medula e 0.7-0.8 g/cm³ de densidade na região próxima ao câmbio para a altura 2, sendo que esse comportamento da variação radial tem sido comumente observado para o lenho de eucalipto e de outras espécies florestais.

2.3.4. Química da madeira

Segundo Foelkel (1977) o conhecimento acerca da natureza química da madeira é de grande importância, pois está diretamente relacionado com as exigências da mesma nos processos de polpação e branqueamento da polpa celulósica.

Segundo Duarte (2007) a caracterização química de madeiras destinadas à produção de polpa celulósica é de grande importância, pois está fortemente relacionada com a eficiência do processo de polpação, influenciando no consumo de reagentes químicos, no rendimento de polpa celulósica e na quantidade de sólidos gerados.

A madeira de eucalipto é constituída em sua totalidade por holoceluloses, lignina, extrativos e uma fração pequena de substâncias inorgânicas. Na fabricação de pasta celulósica o principal componente extraído para liberar o material fibroso é a lignina e com ela também são extraídos os extrativos, os componentes minerais e pequenos percentuais de holoceluloses também.

Dessa maneira a qualidade da celulose ou papel está diretamente relacionada à composição química da madeira. Estudos realizados com várias madeiras do gênero *Eucalyptus* indicaram teores de hemiceluloses, somatório dos grupos acetila, xilanas, arabinanas, mananas, arabinanas e glucanas presentes nas glucomanas, variando de 16,8 a 26,3 % (COLODETTE et al., 2004).

Gomide et al. (2005) avaliou a química da madeira de dez clones de *Eucalyptus* das principais empresas de celulose do Brasil e encontrou valores para lignina total variando de 27,5 a 31,7%. Para o teor de extrativos, os mesmo autores, encontraram teores variando de 1,76% (densidade de 0,465 g.cm⁻³) a 4,13% (densidade de 0,510 g.cm⁻³).

Madeiras com maiores teores de lignina necessitam de uma carga alcalina maior para atingir níveis desejáveis no processo de deslignificação. Entretanto, usando uma maior quantidade de álcali ocorrerá uma redução do rendimento, queda de viscosidade e resistência física da polpa celulósica, além de gerar maior quantidade de sólidos para queima em caldeiras de recuperação. Da mesma maneira, os extrativos são componentes indesejáveis para a obtenção de polpa celulósica, uma vez que causam efeito direto no consumo de álcali, no rendimento e na taxa de deslignificação (ALENCAR, 2002; QUEIROZ, et al. 2004; SANTOS, 2005 e SILVA, 2011)

2.3.5. Polpação

Segundo Gomide e Colodette (2007) a polpação consiste na separação ou individualização das fibras por meio da degradação química e remoção da camada de lignina que mantém as fibras unidas umas às outras. Esse processo possui grande influência da estrutura anatômica e da composição química da madeira.

O processo de polpação mais utilizado é o kraft, por apresentar alta qualidade da celulose obtida, pela facilidade de verificar o teor de lignina residual (número kappa), a viscosidade e propriedades físico-mecânicas. Além disso, gera polpas de alta resistência e branqueabilidade. Todavia, o processo não é seletivo e com a remoção da lignina ocorre a solubilização e degradação das holoceluloses, com conseqüente perda de rendimento e deterioração das polpas, que pode se intensificar de acordo com algumas variáveis do processo como, carga alcalina, tempo e temperatura de cozimento, entre outros (SILVA, Jr., 1994 e SILVA, 2011).

Estudo realizado por Gomide et al. (2010) com clones de *Eucalyptus*, foi possível demonstrar que a carga de álcali ativo para polpação, o teor de lignina e o teor de extrativos apresentaram efeitos significativos no rendimento da polpação kraft, uma vez que mostraram boas correlações com o processo. Os mesmos autores concluíram nessa pesquisa que a densidade básica da madeira não afetou significativamente o rendimento da polpação, mas sim o consumo de madeira para produção de celulose (m³ madeira/tonelada de celulose). Dessa forma, os autores recomendam que para um programa de melhoramento florestal, seria indicado

determinar inicialmente estas características de qualidade da madeira (densidade básica, teor de lignina e teor de extrativos), previamente à determinação das características de polpação que apresenta custo bem mais elevado.

Avaliando a influência da produtividade e da idade sobre a qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com idade de 4, 5, 6 e 7 anos provenientes de plantios comerciais localizados no distrito de Almeirim (estado do Pará) para produção de celulose, Silva (2011) verificou que a carga alcalina necessária para a obtenção de número kappa 18 ± 1 foi influenciada pela produtividade. A carga alcalina aplicada foi maior para as madeiras provenientes de áreas menos produtivas. A autora ainda constatou que os maiores rendimentos depurados foram obtidos para madeira com 4 e 5 anos, sendo o material com 7 anos o de menor desempenho devido a alta carga alcalina necessária no cozimento.

O local de estudo possui uma altitude média de 120m e está localizado entre as coordenadas 39°54'01" de longitude Sul e 17°29'17" de latitude Oeste. A precipitação média anual é de 1112,8mm, com temperatura média de 23°C e umidade relativa do ar em torno de 79%. A distribuição da precipitação e temperatura para o local de estudo pode ser observada na Figura 3 e a seta destacada de vermelho refere-se ao mês e ano de plantio.

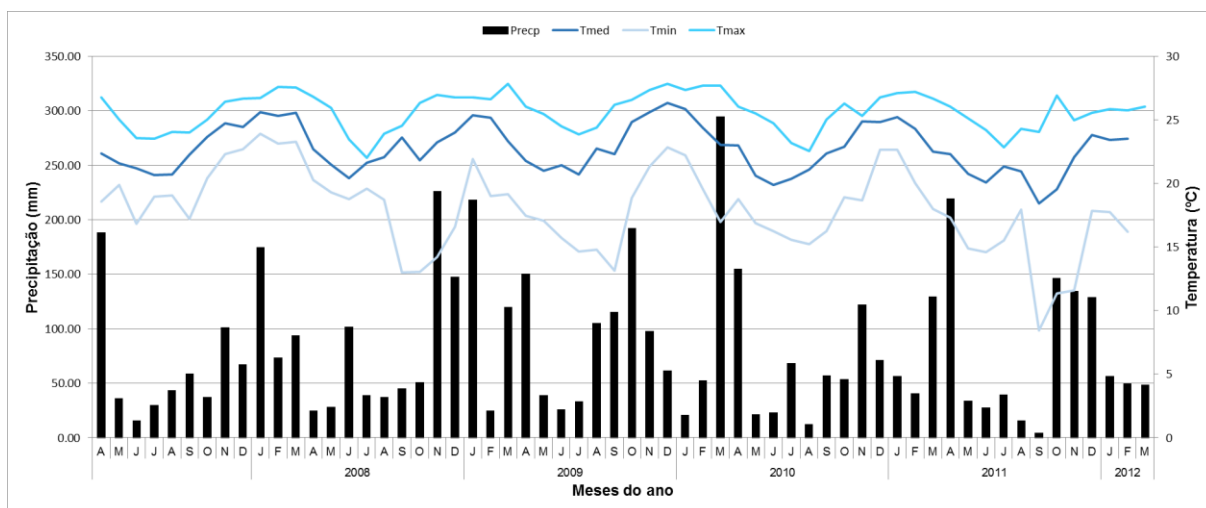


Figura 3. Valores de precipitação mensal – Precp (mm), temperatura média – Tmed (°C), temperatura mínima – Tmin (°C) e temperatura máxima – Tmax (°C) para a área de estudo. Seta em vermelho: data do plantio do povoamento.

Dentre as diversas áreas da empresa afetada pelo estresse a Fazenda Papagaio apresentou um talhão bastante peculiar, uma vez que possuía árvores com maior e menor grau de estresse plantados na mesma época.

As árvores com diferentes intensidades de estresse abiótico aos 42 meses de idade são mostradas na Figura 4.



Figura 4. Plantio com menor (A) e maior (B) grau de estresse abiótico, respectivamente.

Primeiramente, para verificar se existia diferença entre os dois níveis de estresse, foram coletadas árvores aos 42 meses de idade. A coleta das árvores foi realizada em zigue-zague com o objetivo de selecionar árvores com maior e menor grau de estresse conforme esquema apresentado na Figura 5. No total, foram selecionadas 9 árvores em cada situação. Depois de selecionadas, foram tomadas medidas do DAP (1,30m do solo) das árvores e depois de abatidas, foram medidas as alturas totais e comerciais. Do DAP foi retirado um disco para estudos relativos à anatomia da madeira e o restante da árvore foi transformada em toretes e depois em cavacos para realização das análises químicas e cozimento.

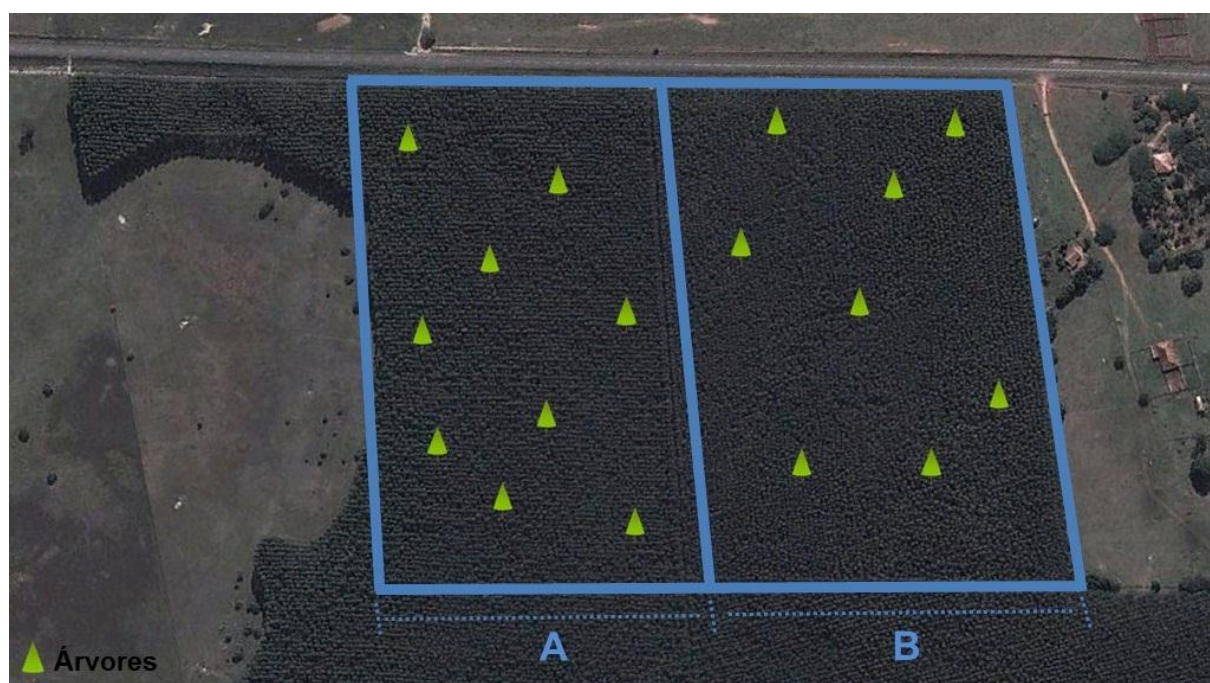


Figura 5. Esquema de amostragem das árvores de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 42 meses de idade com maior grau de estresse abiótico (A) e com menor grau de estresse abiótico (B).

Num intervalo de aproximadamente um ano e meio foi realizada uma segunda coleta no mesmo local, com árvores aos 57 meses de idade, com o objetivo de verificar a qualidade do presente material genético próximo à idade de corte realizada para a indústria. Além da coleta das árvores também foi realizada uma coleta de solo com o objetivo de verificar possível diferença das características edáficas entre as áreas A e B.

Nesse contexto, a área de pesquisa foi dividida em 4 parcelas (2 com maior grau de estresse e 2 com menor grau de estresse) e depois cada parcela em 3 subparcelas, onde dentro de cada uma foram coletadas 2 árvores de diâmetro médio, totalizando 24 indivíduos (12 árvores para cada situação). A amostragem de solo foi realizada seguindo a amostragem das árvores, onde cada amostra de solo foi formada por uma amostra composta de 4 amostras realizada em 7 níveis de profundidade: 0-20 cm, 20-40cm, 40-60cm, 60-80cm, 80-100cm, 100-140cm e 140-180cm. O esquema de amostragem das árvores e da coleta de solo pode ser verificado na Figura 6.

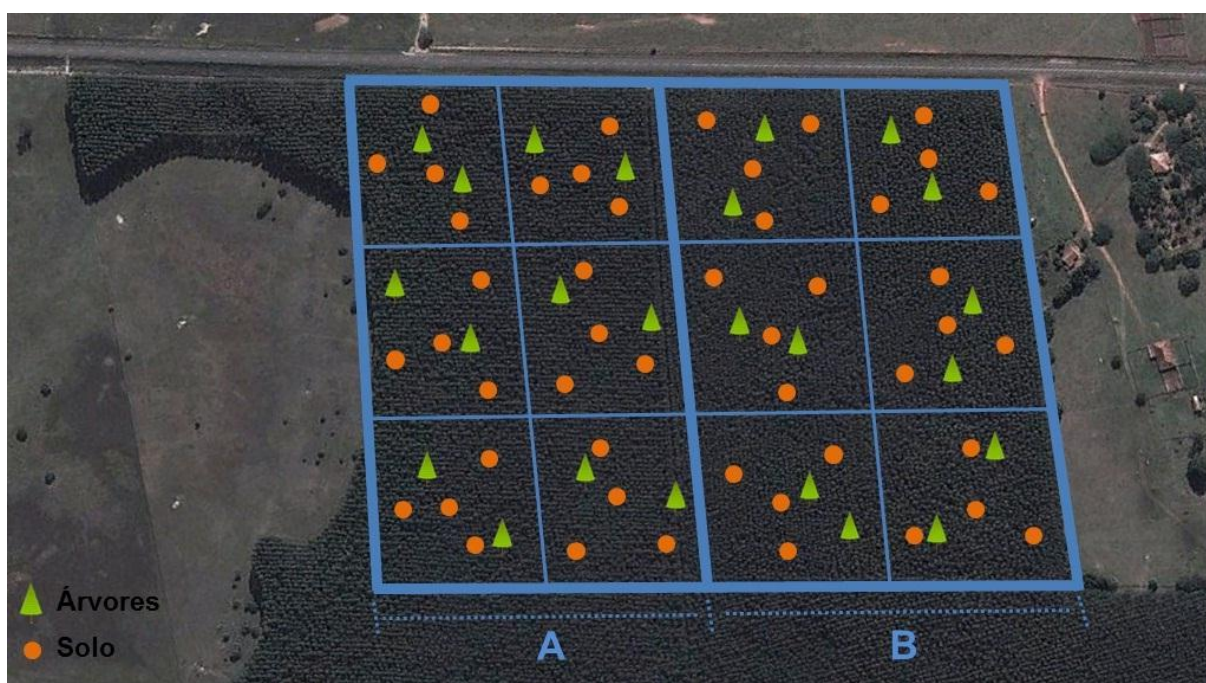


Figura 6. Esquema de amostragem das árvores de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 57 meses de idade com maior grau de estresse abiótico (A) e com menor grau de estresse abiótico (B) e coleta de solo no local de estudo.

3.2. COLETA DO SOLO E ANÁLISES

Para conhecer as propriedades físicas e químicas do solo no local de estudo, a coleta de solo foi realizada de maneira a cobrir representativamente a área de pesquisa, conforme esquema evidenciado na Figura 6. Dessa forma, com auxílio de um trado de caneco, dentro de cada subparcela, o solo coletado em cada ponto e

em cada profundidade era depositado em baldes previamente identificados para posterior homogeneização das composições e retirada de uma amostra.

No total, foram coletadas 12 amostras, 6 na região mais afetada pelo estresse (A) e 6 na região menos afetada pelo estresse (B). Depois de coletadas, as amostras foram transferidas para sacos plásticos e identificadas. Em seguida, foram enviadas ao laboratório para realização das análises. Em cada subparcela ainda foram abertas mini-tricheiras com profundidade de 60cm para visualização do perfil do solo. A sequência de coleta de solo pode ser verificada na Figura 7.

Para determinar a fertilidade do solo, foi utilizada a metodologia descrita por Raij et al. (2001) e as variáveis referentes a granulometria do solo seguiu a o manual da EMBRAPA (1997). No Quadro 1 estão dispostas as variáveis determinadas no estudo referentes análise do solo.

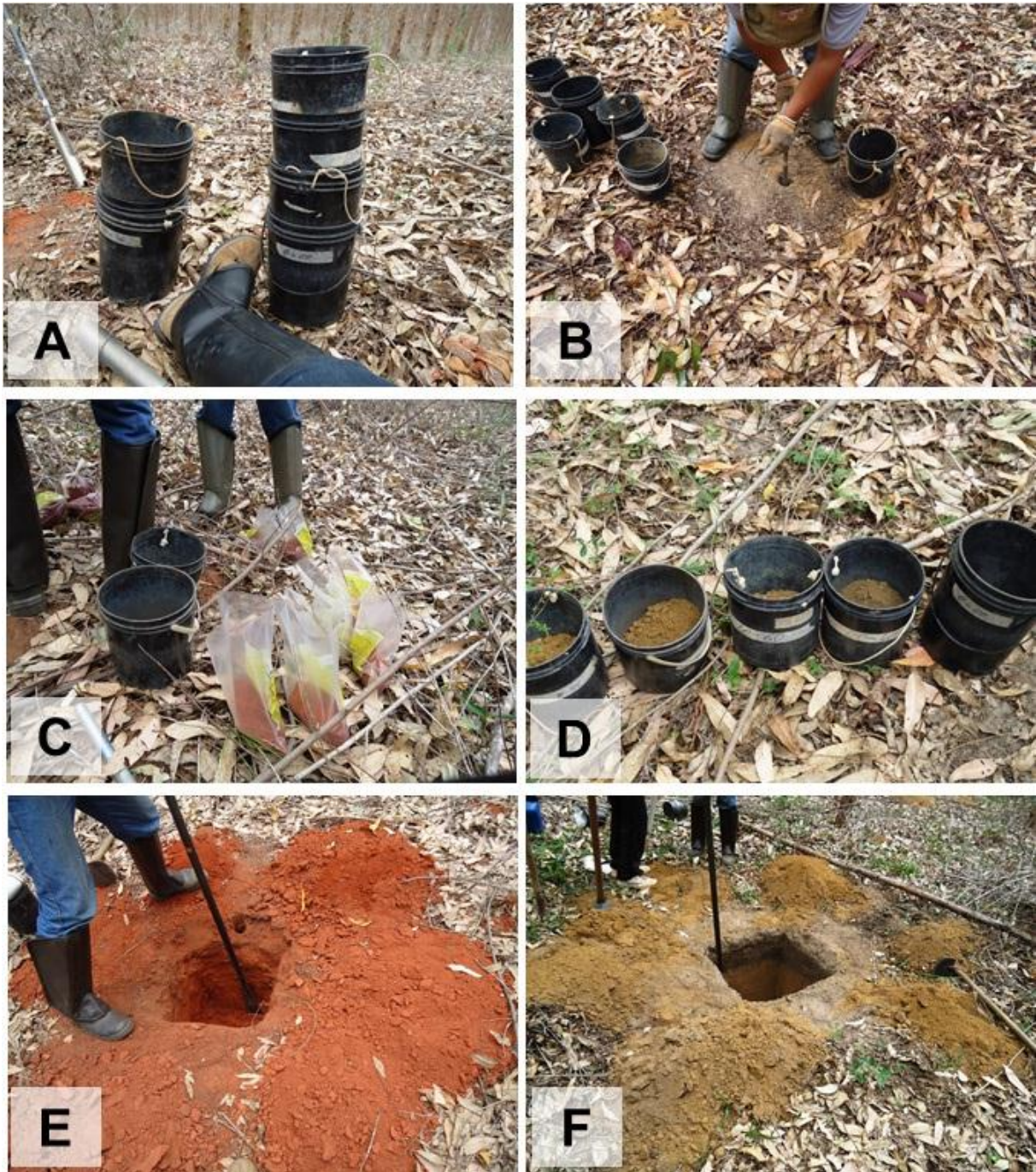


Figura 7. Sequência adotada para coleta de solo. A – Trados e baldes; B – Coleta realizada em profundidade; C e D – Sacos plásticos identificados e baldes usados para homogeneização do solo; E e F – Abertura de trincheiras para visualização do perfil.

Quadro 1. Variáveis quantificadas na análise de solo

Análises	Variáveis				
Textura (granulometria)	Areia fina (dag/kg)	Areia grossa (dag/kg)	Areia total (dag/kg)	Argila (dag/kg)	Silte (dag/kg)
Fertilidade	Cobre (ppm)	Ferro (ppm)	Manganês (ppm)	Zinco (ppm)	
	Acidez potencial: H+Al em meq (meq/100cm ³)	Matéria orgânica colorimetria (dag/kg)	pH em CaCl ₂	pH em água	
	Boro (ppm)	Cálcio em meq (meq/100cm ³)	Potássio em meq (meq/100cm ³)	Magnésio em meq (meq/100cm ³)	Fósforo (ppm)

3.3. CARACTERIZAÇÃO DENDROMÉTRICA DAS ÁRVORES

Tanto na primeira coleta com as árvores aos 42 meses de idade quanto na segunda coleta, onde as árvores já estavam com idade de 57 meses, foram tomadas medições de DAP (1,30m do solo) e das alturas comercial e total. Entretanto, na segunda coleta, por ser uma avaliação mais ampla, também foi quantificado os percentuais de casca, cerne e alburno e estimado o volume de madeira produzido pelos dois níveis de estresse pelo método de Smalian, conforme a seguinte equação:

$$V = \left(\frac{S_1 + S_2}{2} \right) \times L$$

Onde:

V = volume da seção considerada (m³);

S₁ = área seccional de uma extremidade da seção (m²);

S₂ = área seccional da outra extremidade da seção (m²);

L = comprimento da seção(m).

A sequência de atividades realizadas na primeira coleta e na segunda coleta é ilustrada nas Figuras 8 e 9, respectivamente.



Figura 8. Coleta das árvores aos 42 meses de idade: (A) medição do DAP; (B) medição das alturas; (C) retirada dos discos no DAP; (D) discos identificados.

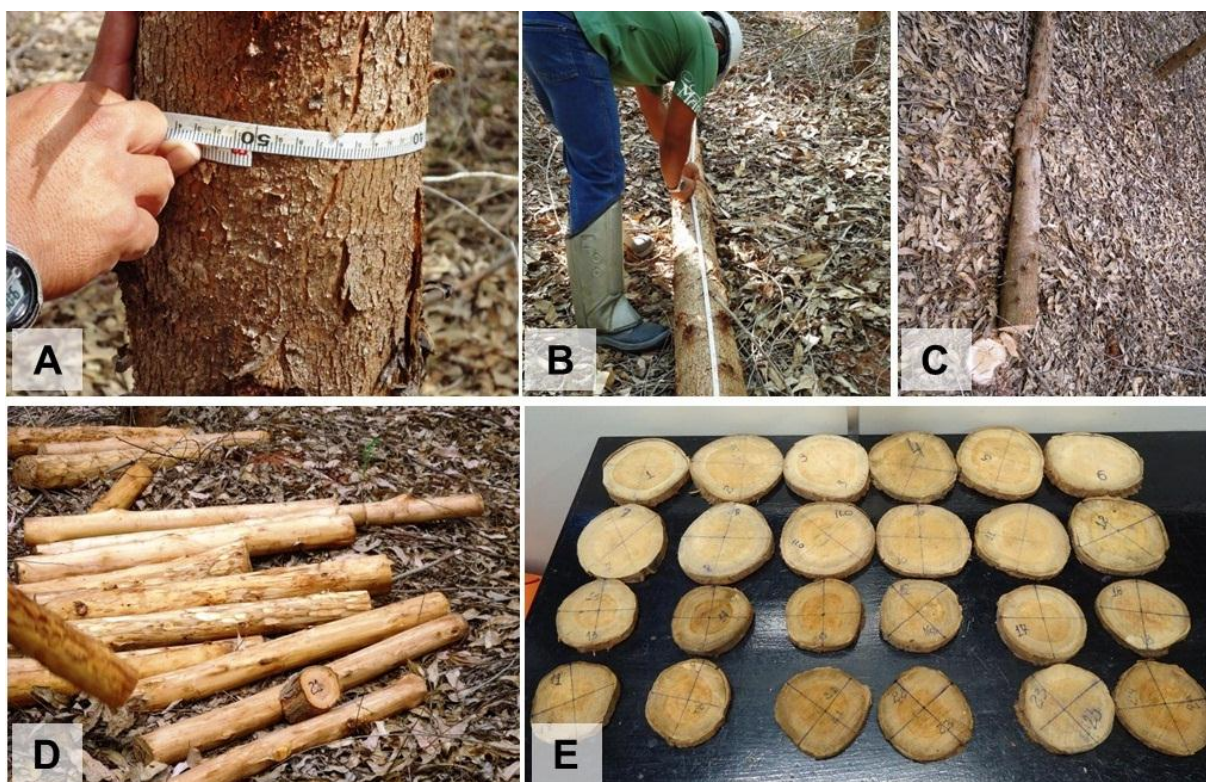


Figura 9. Coleta das árvores aos 57 meses de idade: (A) medição do DAP; (B) medição do fuste para retirada dos discos, toretes e para cubagem da tora; (C) retirada dos toretes e discos; (D e E) toretes e discos identificados.

A quantificação dos teores de casca, cerne e alburno foi realizada em discos retirados no DAP (1,30m do solo), onde foram tomados diâmetros radiais perpendiculares com e sem casca, diâmetro do cerne e por diferença obteve-se a espessura de alburno. A Figura 10 ilustra as medições realizadas.

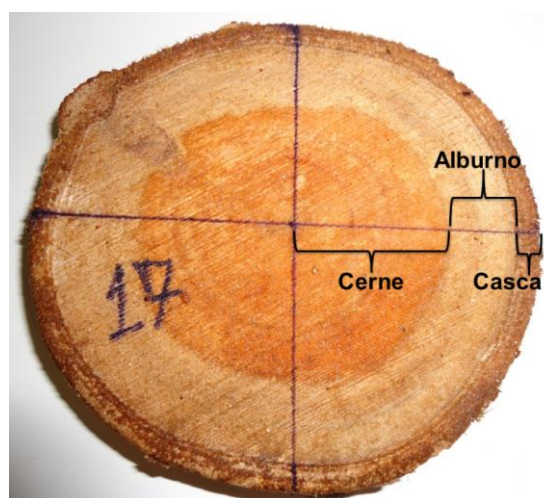


Figura 10. Disco com a demarcação das porções de cerne, alburno e casca.

3.4. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA MADEIRA

A avaliação da qualidade da madeira envolveu uma série de análises realizadas em três laboratórios diferentes. No Quadro 2 estão listadas as análises realizadas para caracterização da qualidade da madeira com suas respectivas metodologias e local de realização.

Quadro 2. Lista das análises, com suas respectivas metodologias e local de realização

Análises	Metodologia	Local de realização
Massa específica aparente (57 meses)	MB-26/1940	LCM/UFES*
Densidade Básica de Cavacos (42 e 57 meses)	ABNT (NBR 11941)	LCT/Fibria
Densitometria de raios X (57 meses)	LAIM/ESALQ/USP	LAIM /USP
Quantificação anatômica (42 e 57 meses)	Rotina do LCM/UFES	LCM/UFES
Análises químicas (42 e 57 meses)	TAPPI	CT/Fibria
Cozimento (42 e 57 meses)	TAPPI	CT/Fibria

*Laboratório de Ciência da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo (LCM/UFES); Laboratório do Centro de Tecnologia da Fibria Celulose S.A. (LCT/Fibria) e Laboratório de Anatomia e Identificação de Madeira da Universidade de São Paulo (LAIM/USP).

O esquema de amostragem dos toretes e dos discos nas árvores, bem como a localização dos corpos de prova nos discos, são ilustrados na Figura 11.

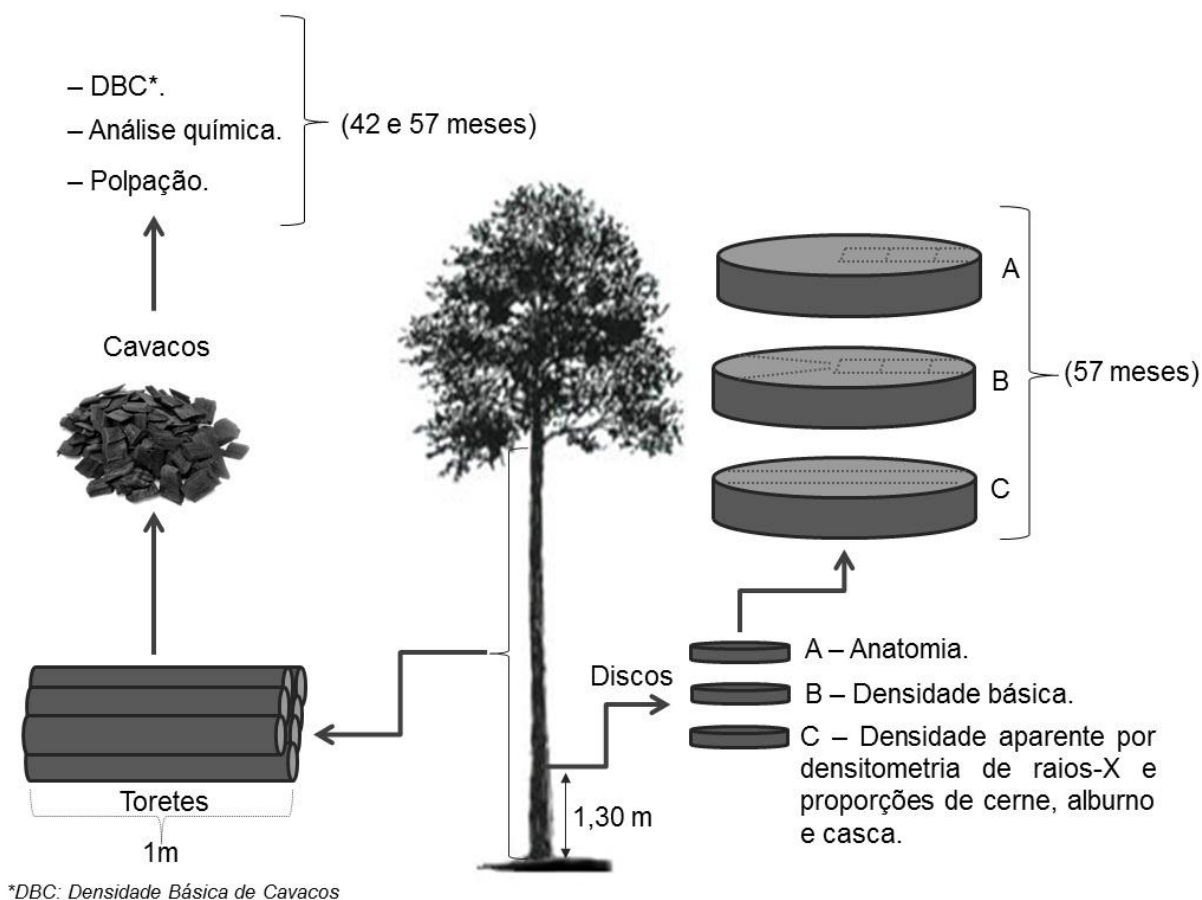


Figura 11. Esquema de amostragem utilizado para avaliação da qualidade da madeira do híbrido clonal de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 42 e 57 meses.

3.4.1. Anatomia da madeira

De acordo com esquema de amostragem da Figura 11, o disco **A** foi utilizado para realização das análises relacionadas à anatomia da madeira, onde os corpos de prova para estudo foram retirados em 3 posições equidistantes, com o objetivo de conhecer a variação radial dos elementos anatômicos estudados.

As variáveis anatômicas quantificadas foram: diâmetro tangencial dos vasos (μm), frequência dos vasos (número de vasos/ mm^2), comprimento da fibra (μm), largura da fibra (μm), diâmetro do lume da fibra (μm) e espessura da parede (μm). Para cada variável foram realizadas 40 repetições.

Para realizar a mensuração referente aos elementos de vasos foram retirados cortes histológicos do lenho a partir de blocos de madeira de 1,5 x 1,5 cm

de seção transversal e 2,0 cm de direção longitudinal, no sentido medula-casca (radial). Após a retirada dos blocos de madeira, os mesmos foram fervidos em água para amolecimento. Os cortes foram realizados em micrótomo de deslize e em seguida preparados em lâminas temporárias, com uso de glicerina e água. As lâminas foram fotografadas por meio de uma câmera digital acoplada a um microscópio e em seguida mensuradas por meio de um software analisador de imagens, Image Pro Express 6.0.

Para determinação das mensurações referentes a fibra, foi realizada a dissociação dos elementos celulares (maceração) de acordo com o método preconizado por Nicholls e Dadswel, descrito por (RAMALHO, 1987), consistindo-se em: preparo das lascas de madeira; transferência destas finas lascas para tubos contendo solução macerante; transferência dos tubos lacrados para estufa a 60°C por 48 horas; lavagem da solução com água corrente; coloração do material com o corante safranina; preparo das lâminas em glicerina para retirada das fotomicrografias.

Após o preparo das lâminas, as mensurações seguiram os mesmos procedimentos utilizados para os elementos de vasos.

Além de determinar as variáveis referentes às fibras, foram utilizadas as expressões presentes na Tabela 3 para calcular os índices de qualidade da madeira para produção de papel.

Tabela 3. Expressões para cálculo dos índices de qualidade das fibras para produção de papel

Nome	Expressões
Índice de Enfeltramento (IE)	$\frac{C}{L}$
Coeficiente de Flexibilidade (CF)	$\frac{DL}{L} \times 100$
Fração Parede (FP)	$\frac{2 \times E}{L} \times 100$
Índice de Runkel (IR)	$\frac{2 \times E}{DL}$

em que:

C = Comprimento da fibra

L = Largura da fibra

DL = Diâmetro do lume

E = Espessura de Parede

3.4.2. Massa específica aparente (densidade)

3.4.2.1. Densidade básica – cunha e bagueta

De acordo com o esquema de amostragem ilustrado na Figura 11, apenas na idade de 57 meses foi determinada a densidade por amostras retiradas de discos no DAP. A densidade básica realizada para o disco **B** foi por meio de amostras na forma de cunha e bagueta (dividida em 3 partes equidistantes), conforme pode ser observado na Figura 12. Esse procedimento teve por objetivo garantir uma maior amostragem do disco e ainda comparar se existia diferença entre um lado e outro do disco por meio de amostragens com formatos distintos.

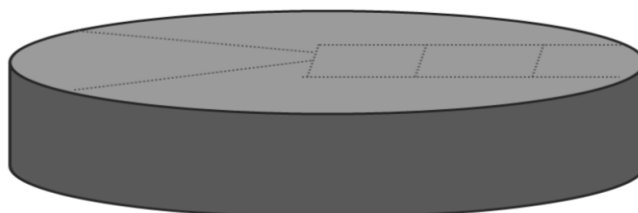


Figura 12. Local de retirada das amostras no disco B para determinação da densidade básica aos 57 meses de idade.

Na determinação do volume das amostras de madeira na condição saturada ou verde, foi utilizado o método da balança hidrostática descrito no MB-26/1940 da ABNT, porém com substituição do mercúrio pela água. Para determinação da massa seca utilizou-se uma balança de precisão de 0,01g e secagem completa das amostras foi feita em estufa de ventilação forçada a uma temperatura de $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$. E por fim a densidade foi determinada pela razão entre a massa completamente seca da amostra por seu volume saturado.

3.4.2.2. Densidade básica de cavacos

Em estudos relacionados à qualidade da madeira para produção de celulose, faz-se necessária a determinação da densidade da madeira em forma de cavacos, pois é nessa forma que a madeira abastece o digestor fabril. Dessa maneira, após o abate das árvores em campo, tanto para a idade de 42 meses quanto para a idade de 57 meses, as mesmas foram transferidas para o pátio do laboratório e com o auxílio de um picador, transformada em cavacos. A densidade do material foi determinada pelo método de imersão descrito na NBR 11941 (2003).

3.4.3. Densidade aparente (raios x)

As análises relacionadas à densitometria de raios X foram realizadas apenas para a idade de 57 meses e foi utilizado o disco **C** do DAP das árvores. Primeiramente os discos foram polidos com auxílio de lixas com diferentes granulometrias para obter-se uma boa visualização dos discos e das partes que o compõe com o objetivo de identificar alguma alteração anormal presente no lenho das árvores. Em seguida, as amostras foram preparadas seguindo a metodologia descrita por Tomazello et al. (2008), onde os dois melhores raios (isentos de defeitos) foram extraídos e em seguida seccionados numa serra dupla para o preparo de amostras com 2mm de espessura, com largura de 10mm. As amostras retiradas passaram por um processo de aclimação por um período de 12 horas a uma temperatura de 20°C e umidade relativa de aproximadamente 50%.

Depois de aclimatadas, as amostras foram transferidas para um suporte metálico e encaixada na parte interna do equipamento de raios-X (QTRS-01X da Quintek Measurement System). Após a calibração, as amostras foram lidas por um feixe colimado de raios X que incidiam na madeira e com o auxílio do software QMS os valores eram transformados em densidade aparente. Dessa maneira, ao final da leitura plotava-se os dados obtidos em planilhas do software Excel, onde tinha-se o perfil radial da densidade aparente. O passo a passo para realização da análise de densitometria de raios x pode ser observado na Figura 13.

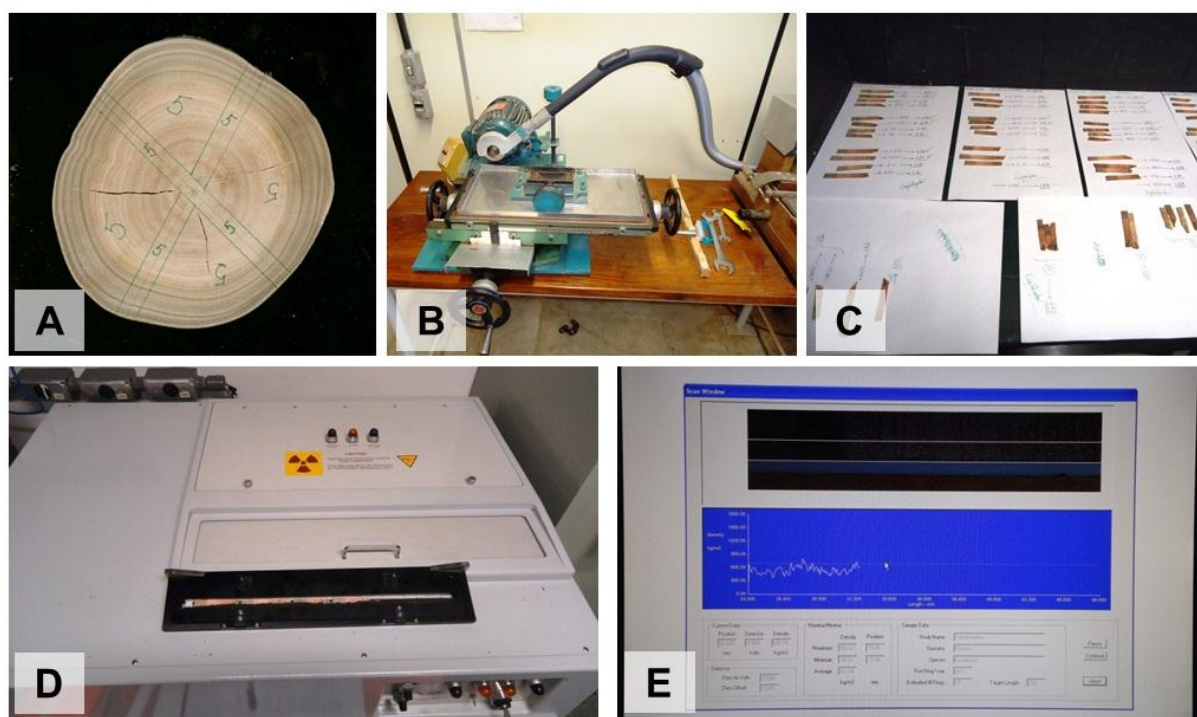


Figura 13. Preparo de amostras para leitura de raios X. A – Disco polido com os raios demarcados; B – Serra dupla utilizada para retirada das amostras para leitura; C – Amostras retiradas na sala de aclimação; D – Equipamento de raios X com suporte preto utilizado para encaixar as amostras para leitura; E – Perfil de leitura de dados obtido pelo programa.

3.4.4. Análises químicas

As análises químicas foram realizadas para as duas idades. Entretanto, na primeira coleta, as 18 árvores (9 com estresse abiótico e 9 sem estresse abiótico) foram agrupadas de 3 em 3 árvores para a composição das amostras para análise

químicas. Já para a segunda coleta, onde foram retiradas 24 árvores para o estudo, metade para cada situação, as amostras para análise química foram obtidas pela composição de duas árvores.

Os cavacos depois de secos foram triturados em moinho do tipo Wiley e a serragem produzida foi classificada em peneiras entre 40 e 60 mesh. Para cada amostra foram realizadas as análises descritas no Quadro 3.

Quadro 3. Normas utilizadas para as análises químicas da madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 42 e 57 meses de idade

Análise	Procedimento
Extrativos em álcool/tolueno	TAPPI T204 cm 97 (Solvent Extratives of wood pulp)
Extrativos em acetona	
Lignina	TAPPI T222 om06 (Acid-insoluble lignina in wood and pulp)
Pentosanas	TAPPI T223 cm10 (Pentosanas in wood and pulp)

3.4.5. Polpação

A amostragem das árvores para a polpação seguiu a mesma utilizada para análise química. Após serem transportados para o laboratório da empresa, os toretes foram picados, classificados, secos e armazenados em sacos plásticos identificados para depois serem levados ao laboratório de cozimento.

Entretanto, para a idade de 42 meses por ter sido tratada como uma análise preliminar pontual, além dos dois tratamentos usuais (com maior e com menor grau de estresse), a madeira com maior grau de estresse foi dosada em uma composição de madeira (mix) utilizado no laboratório da empresa que simula a composição das madeiras utilizadas no processo industrial. Esse procedimento foi realizado com o intuito de direcionar o uso racional da madeira com problemas no processo industrial.

Nesse contexto, para a análise aos 42 meses de idade os tratamentos foram divididos de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4. Composição das amostras utilizadas na polpação para o material genético aos 42 meses de idade

Tratamentos	Descrição
1	Madeira com menor grau de estresse
2	Madeira com maior grau de estresse
3	Mix (composição de diferentes madeiras)
4	80% de madeira do mix + 20% de madeira com maior grau de estresse
5	20% de madeira do mix + 80% de madeira com maior grau de estresse
6	90% de madeira do mix + 10% de madeira com maior grau de estresse

Na segunda coleta, aos 57 meses, foi avaliada somente a madeira de menor grau de estresse versus a madeira de maior grau de estresse.

A deslignificação das amostras tanto na análise de 42 meses quanto aos 57 meses seguiu o processo Kraft, em digestor modelo M&K e adotou-se o padrão de cozimento do laboratório, com sulfidez de 35 ± 1 , número kappa em 18 ± 1 e um residual de álcali entre 1 e 5g/l e um tempo total para o cozimento de 290min.

A carga de álcali variou de acordo com as necessidades da madeira para se atingir o número kappa padronizado, ou seja, a carga alcalina foi ajustada visando a obtenção de polpa marrom com número kappa de 18 ± 1 . Após a deslignificação, a polpa marrom foi depurada e os rejeitos foram separados, secos e pesados. Para quantificar o teor de rejeitos, calculou-se o percentual entre o peso seco de rejeitos e o peso seco dos cavacos que forneceram os rejeitos e para determinar o rendimento

depurado (RD) em celulose, realizou-se o cálculo da diferença entre o rejeito bruto e o teor de rejeitos.

3.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

No presente estudo o delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC) aplicando-se a análise de variância para os parâmetros considerados na pesquisa. Quando a análise de variância foi significativa para os dois tratamentos, considerou-se o teste t e quando necessário, utilizou-se o teste de Tukey ao nível de 5% de significância para distinguir as médias para as análises com mais de dois tratamentos. Para a análise do solo utilizou-se DIC em esquema fatorial (nível de estresse x profundidade do solo).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. SOLO

Por meio da classificação dos levantamentos de solo da Embrapa Solos UEP Recife (2006), o solo do local de estudo é classificado como Latossolo vermelho distrófico (LVd). O mapa de classificação para o município de Teixeira de Freitas é visualizado na Figura 14.

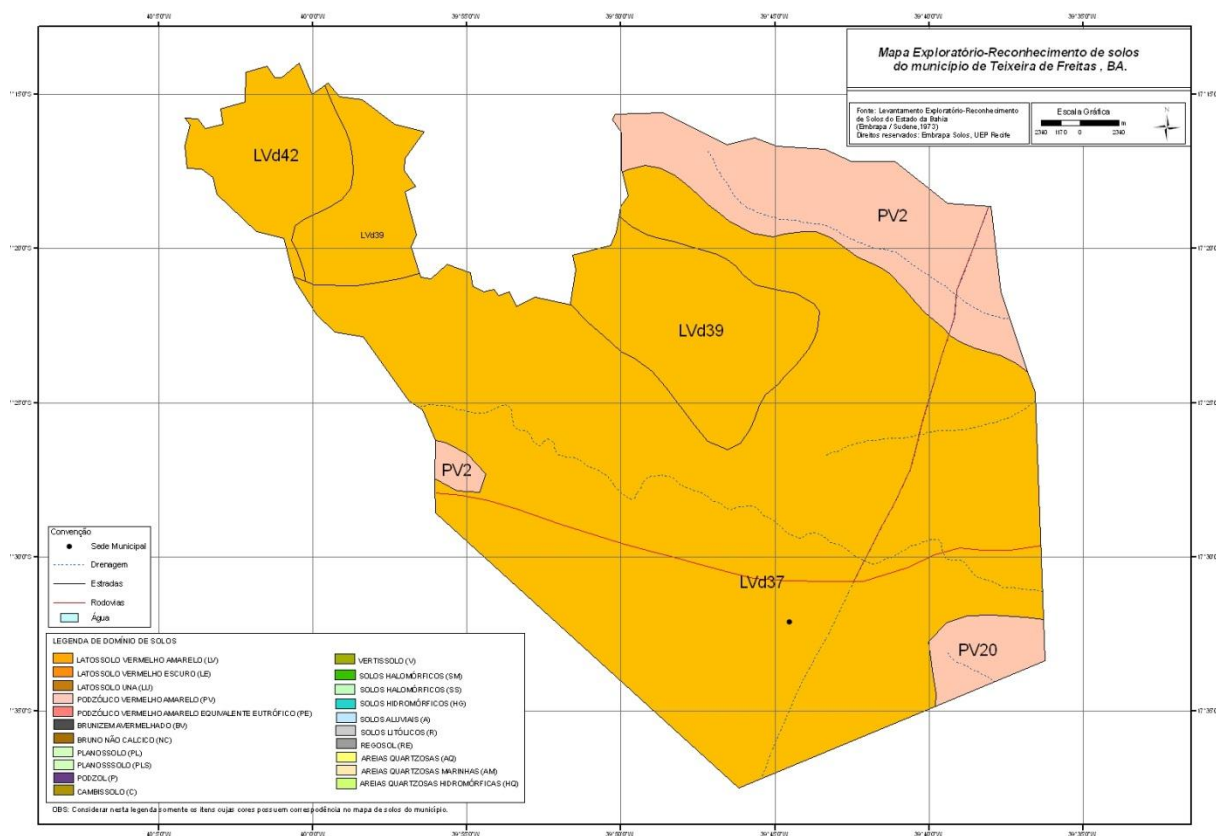


Figura 14. Mapa exploratório – Reconhecimento de solos do município de Teixeira de Freitas, Bahia.

Por meio das análises físicas e químicas realizadas com o solo coletado na área de pesquisa, foi possível constatar que a média para relação Silte/Argila foi igual 0,6, sendo este valor um indicativo de latossolos, uma vez que para tal classificação o valor da relação Silte/Argila deve ser menor que 0,7. Além disso,

outro indicativo é que a capacidade de troca catiônica (CTC) da fração argila foi menor que 17, confirmando mais uma vez sua classificação com o latossolo.

Os valores médios referentes à textura do solo estão na Tabela 5.

Tabela 5. Médias dos valores referentes à textura do solo no local do plantio com árvores do híbrido clonal de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em maior e menor grau de estresse

Local	Profundidade (cm)	Areia fina (dag/kg)	Areia grossa (dag/kg)	Areia total (dag/kg)	Argila (dag/kg)	Silte (dag/k)
Menor grau de estresse	0-20	15	48	63	22	15
	20-40	13	35	48	32	20
	40-60	13	40	53	29	18
	60-80	13	42	55	28	17
	80-100	12	40	52	31	17
	100-140	13	35	48	28	24
	140-180	13	34	47	26	28
Média	-	13	39	52	28	20
Maior grau de estresse	0-20	13	40	53	28	19
	20-40	15	43	58	27	15
	40-60	14	43	58	27	16
	60-80	14	38	52	30	18
	80-100	14	42	57	28	15
	100-140	14	44	57	27	16
	140-180	13	48	62	26	12
Média	-	14	43	57	28	16

De acordo com o triângulo de classificação do solo, tanto o local onde as árvores possuíam um menor grau de estresse quanto a área com maior grau de estresse, foram classificadas como um solo de textura média.

Na Tabela 6 são apresentados os valores da análise química relativos aos micronutrientes presentes no solo das duas situações de crescimento das árvores, com menor e maior grau de estresse e nas sete profundidades de coleta.

Tabela 6. Médias dos valores de micronutrientes para o solo onde ocorreu maior e menor grau de estresse nas árvores de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*

Local	Profundidade (cm)	Micronutrientes (ppm)			
		Cu	Fe	Mn	Zinco
Menor grau de estresse	0-20	1,15	8,23	26,41	0,46
	20-40	0,61	1,44	3,24	0,06
	40-60	0,52	12,16	10,63	0,52
	60-80	0,96	5,93	19,16	0,33
	80-100	0,42	13,59	3,23	0,24
	100-140	0,59	6,95	8,76	0,34
	140-180	0,66	5,79	11,44	0,29
Média	-	0,70	7,73	11,84	0,32
Maior grau de estresse	0-20	0,65	3,59	4,37	0,14
	20-40	0,58	4,99	14,76	0,23
	40-60	0,49	23,95	3,78	0,21
	60-80	0,41	12,10	0,67	0,09
	80-100	0,48	9,04	4,64	0,22
	100-140	0,53	22,19	4,85	0,25
	140-180	0,45	12,64	10,19	0,35
Média	-	0,55	11,94	6,42	0,21

Em relação à média dos valores para as análises químicas de micronutrientes pode-se observar que os valores de Fe da área de menor grau de estresse para a área de maior grau de estresse apresentou um aumento considerável, o que pode explicar o efeito da coloração diferenciada dos solos estudados (Figura 7, E e F).

Segundo Novais, Barros e Neves (1990) a disponibilidade de ferro para as plantas é mais elevada em solos ácidos e sob condições de alagamento, a solubilidade do ferro também aumenta em razão da sua redução Fe^{3+} para Fe^{2+} . Esses autores afirmam ainda que a presença de Fe^{2+} pode causar toxicidade se a condição de alagamento perdurar.

Apesar dos valores de teores ferro (Fe) encontrados não ter diferido estatisticamente, para as duas condições de estudo, pode-se observar um aumento das concentrações desse micronutriente em algumas camadas do solo. Tem-se como exemplo a profundidade de 40-60cm, onde para a área com ocorrência de menor grau de estresse das árvores o valor médio foi de 12,16ppm. Para mesma profundidade na área que continha maior grau de estresse das árvores o valor médio da concentração de ferro foi quase o dobro, atingindo 23,95ppm. Da mesma maneira, pode ser observado nas maiores profundidades (100-140 e 140-180cm) onde os valores médios desse micronutriente mais que dobrou.

Vale ressaltar que tal concentração pode explicar o fenômeno da mudança de coloração do solo à medida que a coleta tendeu para área mais inferior do talhão. Observou-se uma maior concentração de umidade na parte inferior do talhão que juntamente com as altas concentrações de ferro podem explicar uma coloração mais amarelo-acinzentada, típica de gleissolo. A variação de cor pode ser observada nas trincheiras da Figura 7 (E e F).

Na Tabela 7 estão os valores referentes à análise química do solo nas duas situações de crescimento das árvores, com menor e maior grau de estresse e nas sete profundidades de coleta.

Tabela 7. Valores médios da fertilidade dos solos com árvores do híbrido clonal de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em maior e menor grau de estresse

Local	Profundidade (cm)	*Ap	*Ca	*K	*Mg	*Bo	*P	pH em CaCl ₂	pH em água	*MO (dag/kg)
	meq/100cm ³ppm.....				
Menor grau de estresse	0-20	2,09	0,78	0,06	0,28	0,22	1,83	4,52	5,30	1,37
	20-40	1,37	0,76	0,08	0,39	0,23	1,33	5,18	5,92	0,78
	40-60	1,45	0,80	0,10	0,37	0,22	1,50	5,00	5,78	0,97
	60-80	1,36	1,03	0,09	0,29	0,22	1,33	5,25	5,95	1,02
	80-100	1,27	1,09	0,09	0,28	0,21	1,17	5,38	6,02	0,95
	100-140	1,20	1,01	0,08	0,22	0,17	1,00	5,53	6,28	0,67
	140-180	1,14	0,99	0,07	0,25	0,15	1,00	5,75	6,47	0,48
Média	-	1,41	0,92	0,08	0,30	0,20	1,31	5,23	5,96	0,89
Maior grau de estresse	0-20	1,63	1,23	0,04	0,24	0,15	1,17	5,10	5,90	0,82
	20-40	1,43	0,91	0,06	0,18	0,19	1,33	5,32	6,12	0,75
	40-60	1,34	0,95	0,05	0,17	0,16	1,00	5,63	6,38	0,58
	60-80	1,47	1,13	0,03	0,16	0,14	1,00	5,63	6,42	0,52
	80-100	1,72	0,83	0,04	0,17	0,15	1,17	5,20	5,98	0,58
	100-140	1,68	1,29	0,04	0,16	0,16	1,67	5,50	6,27	0,78
	140-180	2,01	0,81	0,06	0,17	0,19	2,33	4,68	5,47	1,12
Média	-	1,61	1,02	0,05	0,18	0,16	1,38	5,29	6,08	0,74

*Ap: Acidez potencial (meq/100cm³); Ca: Cálcio (meq/100cm³); K: Potássio (meq/100cm³); Bo: Boro (ppm); P: Fósforo (ppm); MO: Matéria Orgânica (dag/kg).

Vale destacar os valores nitidamente inferiores para os teores de magnésio e boro na área onde as plantas apresentaram maior grau de estresse. Novais, Barros e Neves (1990), sugerem que a deficiência do boro é frequentemente observado em condições de campo, onde ocorrem solos que apresentam textura arenosa a média, dada à baixa retenção de umidade.

Apesar da deficiência de boro e/ou cálcio serem considerados nutrientes responsáveis pela seca do ponteiro que ocorre com mais frequência em árvores de eucalipto plantadas no Vale do Rio Doce. E mesmo as árvores aqui estudadas apresentem como sintoma do estresse a morte do broto apical, tal fato não pode ser relacionado, uma vez que as plantas afetadas não apresentam lesões nas inserções de ramos e pecíolo comumente observados nesta enfermidade em associação com patógenos fracos ou oportunistas que geralmente colonizam tecidos de hospedeiros fisiologicamente conforme avaliado em campo.

4.2. CARACTERIZAÇÃO DENDROMÉTRICA DAS ÁRVORES

Os valores médios referentes às variáveis dendrométricas das árvores coletadas aos 42 e 57 meses encontram-se na Tabela 8. Os valores relacionados à estimativa do volume foram calculados apenas para as árvores coletadas na segunda idade (57 meses).

Tabela 8. Valores médios das variáveis dendrométricas para o híbrido clonal de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 42 e 57 meses de idade

Idade	Situação	Altura Total (m)	Altura Comercial (m)	DAP (cm)	Volume (m ³)
42 meses	Menor grau de estresse	20,38*	16,84*	14,47*	-
	Maior grau de estresse	15,17	11,21	11,88	-
57 meses	Menor grau de estresse	22,08*	16,71*	15,27*	0,20*
	Maior grau de estresse	17,85	10,28	11,35	0,08

* - Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t.

ns – Não significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t.

Todos os valores da Tabela 8 foram estatisticamente diferentes ao nível de 5% de significância pelo teste t para as duas idades estudadas separadamente nas

duas situações. As árvores com menor grau de estresse apresentaram os maiores valores para os parâmetros dendrométricos avaliados tanto aos 42 quanto aos 57 meses de idade. Para os parâmetros dendrométricos mensurados, pode-se observar que o estresse influenciou negativamente no crescimento das árvores.

O valor médio do volume produzido pelas árvores aos 57 meses de idade foi mais que o dobro na área com menor grau do estresse o que indica possíveis gargalos no abastecimento fabril, uma vez que o volume de madeira estimado de uma floresta com maior grau de estresse pode reduzir o abastecimento pela metade.

Os valores de altura total, altura comercial e DAP para as árvores com maior grau de estresse, apesar de possuírem idade maior, estão próximos aos encontrados por Braz (2011) estudando dez híbridos clonais de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* que cresceram no Vale do Rio Doce com idade variando entre 30 e 33 meses. O autor encontrou valores de altura total média de 17,81m, altura comercial de 12,85m e DAP médio de 12,33cm.

Os percentuais de casca, cerne, albúrnio e a relação cerne/albúrnio das árvores estudadas aos 57 meses de idade foram estatisticamente diferentes e podem ser observados na Tabela 9.

Tabela 9. Percentuais médios de casca, cerne e albúrnio e relação cerne/albúrnio para as árvores de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 57 meses de idade

Situação	% Casca	% Cerne	%Albúrnio	Cerne/Albúrnio
Menor grau de estresse	6,86*	54,15*	45,85*	1,18*
Maior grau de estresse	8,68	39,23	60,77	0,65

* - Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t.

ns – Não significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t.

As árvores que cresceram sob maior efeito do estresse produziram um percentual maior de casca, característica indesejada no processo de produção de celulose. Entretanto, apresentaram uma relação cerne/albúrnio mais favorável para a produção de celulose, uma vez que madeiras com maiores percentuais de albúrnio são mais fáceis de serem impregnadas e apresentam menores teores de extrativos.

As árvores com menor grau de estresse produziram uma maior área de cerne, o que fez tais indivíduos apresentar maior valor para a relação cerne/albúrnio.

Tal fato pode ser decorrente das melhores condições de crescimento das árvores com menor grau de estresse, o que gera condições para formar madeira com maior quantidade de cerne.

Oliveira et al. (2010) estudaram árvores de 64 meses de um clone de *Eucalyptus grandis*, que cresceram em três localidades, uma no estado Espírito Santo e duas no estado de Minas Gerais para produção de celulose e encontraram valores superiores para o percentual de alburno. Para as três localidades estudadas os autores encontraram valores dos percentuais de cerne e alburno variaram de 20,93% a 33,44% e 66,65% a 79,07%, respectivamente e uma relação cerne/alburno variando de 0,31 a 0,65.

Valores superiores para relação cerne/alburno e percentual de casca foi encontrado por Mauri (2010) estudando dois clones de *Eucalyptus urograndis* com idade de 6 anos, onde a autora encontrou valores variando de 0,60 a 1,64 e ainda encontrou valores de percentual de casca variando de 11,02 a 17,61%.

4.3. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA MADEIRA

4.3.1.1. Anatomia da madeira e índices indicativos de qualidade de fibras para produção de papel

Na Tabela 10 podem ser observados os valores médios para Diâmetro Tangencial de Vasos (DTV) e Frequência de Vasos (FV), para as duas condições de estresse aos 57 meses de idade.

Tabela 10. Valores médios para Diâmetro Tangencial de Vasos (DTV) em μm e Frequência de Vasos (FV) em nº de vasos/ mm^2 para o lenho das árvores de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 57 meses de idade

Situação	Posição					
	1		2		3	
	DTV	Freq.	DTV	Freq.	DTV	Freq.
Menor grau de estresse	97.9 ^{ns}	18*	119.6*	16*	133.0 ^{ns}	12*
	(63,5) (155,6)	(13) (24)	(63,5) (158,7)	(11) (24)	(88,9) (133,0)	(9) (20)
	(18,4)	(16,2)	(16,4)	(19,5)	(14,9)	(19,7)
Maior grau de estresse	95.4	20	107.7	20.2	128.0	15.4
	(57,1) (146,0)	(15) (28)	(60,3) (139,7)	(11) (30)	(83,3) (16,8)	(11) (27)
	(18,0)	(16,6)	(16,5)	(18,7)	(13,2)	(23,70)

* - Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t.

ns – Não significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t.

Os valores entre parênteses são mínimo(μm), máximo(μm) e coeficiente de variação(%), respectivamente.

Todos os valores referentes à frequência de vasos foram estatisticamente diferentes ao nível de 5% de significância pelo teste t, com maiores valores para o lenho das árvores que cresceram sob maior grau de estresse. Em relação ao DTV, apenas na posição 2 do lenho obteve-se valor estatisticamente diferentes ao nível de 5% de significância pelo teste t. Entretanto, pode-se observar que de maneira geral, as árvores que cresceram sob menor grau de estresse tiveram os maiores valores para DTV.

Na Tabela 11 podem ser observados os valores médios para os parâmetros mensurados das fibras como: Comprimento de Fibra (C), Largura da Fibra (L),

Diâmetro do Lume (DL) e Espessura de Parede (EP) para as duas condições de estresse.

Tabela 11. Valores médios dos parâmetros mensurados das fibras (Comprimento de Fibra (C), Largura da Fibra (L), Diâmetro do Lume (DL) e Espessura de Parede (EP) para o lenho das árvores de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 57 meses de idade nas duas condições de crescimento

Situação	C(μm)	L(μm)	DL(μm)	EP(μm)
Menor grau de estresse	1037,0* (568,8) (1712,3) (15,9)	20,1 ^{ns} (3,7) (41,8) (18,2)	10,6* (1,8) (28,9) (32,2)	4,7* (1,0) (9,4) (22,1)
Maior grau de estresse	977,3 (482,5) (1486,9) (17,5)	20,0 (9,4) (31,9) (17,7)	11,2 (3,7) (22,8) (30,0)	4,2 (1,4) (7,7) (20,7)

* - Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t.

ns – Não significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t.

Os valores entre parênteses são mínimo(μm), máximo(μm) e coeficiente de variação(%), respectivamente.

De acordo com os dados relacionados aos parâmetros de fibras presentes na Tabela 11, observa-se que as árvores com menor grau de estresse, nas duas idades estudadas, apresentaram os maiores valores das variáveis mensuradas. Todos os valores foram estatisticamente diferentes ao nível de 5% de significância pelo teste t, exceto para a variável Largura de Fibra.

Estudando os principais clones de *Eucalyptus* das empresas produtoras de celulose kraft do Brasil, Gomide et al. (2005) encontrou para os parâmetros de fibras um comprimento variando entre 0,95 a 1,07mm, com largura de 17,3 a 19,2 μm e espessura de parede de 4,6 a 5,2 μm .

Braz (2011) em estudo realizado com dez híbridos clonais de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com idade variando de 30 a 33 meses no estado de Minas Gerais encontrou valores inferiores aos encontrados. O autor encontrou valores médios de comprimento de fibra variando de 907,2 a 1097,8 μm , Largura de Fibra variando de 17,68 a 19,87 μm , Diâmetro do Lume variando de 10,05 a 12,66 μm e Espessura de parede variando de 3,46 a 4,08 μm . Mesmo se tratando de um mesmo híbrido clonal, tal distinção de valores encontrados pode ser explicada pela diferença de idade entre as árvores dos estudos.

Os índices indicativos de qualidade da madeira para polpa celulósica para produção de papel são fornecidos pelas relações entre as dimensões das fibras. Na Tabela 12 estão os valores para o Índice de Enfeltramento (IE), Coeficiente de Flexibilidade (%) (CF%), Fração Parede (%) (FP%) e Índice de Runkel (IR).

Tabela 12. Valores dos índices de qualidade de fibras do lenho das árvores de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 57 meses de idade em duas situações de crescimento

Situação	Índice de Enfeltramento	Coeficiente de Flexibilidade (%)	Fração Parede (%)	Índice de Runkel
Menor grau de estresse	53,5* (22,0) (100,6) (23,6)	52,1* (14,8) (75,1) (19,8)	47,9* (24,9) (85,2) (21,6)	1,0* (0,3) (5,7) (51,3)
Maior grau de estresse	51,0 (18,7) (132,7) (24,5)	56,0 (23,3) (85,7) (17,2)	44,0 (14,3) (76,7) (21,9)	0,8 (0,2) (3,3) (44,3)

* - Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t.

ns – Não significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t.

Os valores entre parênteses são mínimo(μm), máximo(μm) e coeficiente de variação(%), respectivamente.

Os valores médios dos índices presentes na Tabela 12 foram estatisticamente diferentes ao nível de 5% de significância pelo teste t. Para todos os índices determinados, os maiores valores foram encontrados nas árvores que cresceram com menor grau de estresse.

De acordo com Baldi (2001), citado por Nigoski (2005), para o Índice de Enfeltramento, quanto maiores forem seus valores, melhor será a formação da folha, havendo grande relação com resistência ao rasgo e formação de dobras. Em outras palavras valores mais altos indicam fibras mais compridas que irão refletir em uma rede fibrosa mais flexível.

As árvores que cresceram com menor grau de estresse desenvolveram fibras mais compridas o que gerou os maiores valores de Índice de Enfeltramento para suas fibras. Segundo Foelkel (1978), para as árvores de eucalipto são encontrados em geral valores desse índice variando de 40 a 50, consoante com os valores encontrados no presente estudo (Tabela 12). Quanto maior for esse índice mais indicado para produção de papéis de imprimir e escrever, uma vez que para tais papéis são desejáveis boa formação da folha e resistência (FOELKEL, s.d.).

Ainda relativo a esse índice, Mauri (2010) aplicou os índices em seu estudo com árvores de dois clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 6 anos de idade e encontrou valores que variaram 53,01 a 57,53. Rodrigues (2010) trabalhando com dois clone de *Eucalyptus grandis* provenientes de duas regiões do estado de Minas Gerais e quatro regiões do estado do Espírito Santo, encontrou valores médios de IE variando de 51,40 a 59,28 para o clone 1 e de 60,51 a 67,44 para o clone 2.

O coeficiente de flexibilidade, também chamado de coeficiente de rigidez, indica a capacidade da fibra em fazer ligações entre elas na rede fibrosa. Quanto maior for esse índice, maior a possibilidade de colapso, refletindo numa maior ligação da população fibrosa, aumentando, por exemplo, as resistências ao estouro e tração e diminuindo a resistência a rasgo e opacidade (FOELKEL, 1978). O mesmo autor indica que valores considerados ideais devem estar acima de 50%.

Para o presente estudo, de acordo com os valores médios apresentados na Tabela 12, as árvores que cresceram com maior grau de estresse apresentaram os maiores valores. Mauri (2010) encontrou valores maiores para o CF(%), onde variou de 58 a 65% para dois clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 6 anos de idade. Esses maiores valores podem ser explicados pelos maiores valores de comprimento de fibras encontrado em árvores com idades mais avançadas.

Valores de Fração Parede acima de 60% não são muito desejáveis, pois as fibras são classificadas como muito rígidas, dificultando a ligação fibra-fibra, uma vez que a fração parede esta relacionada à facilidade de colapso e flexibilidade para as ligações na população de fibras (Foelkel, 1978).

Os valores médios de FP(%) do presente estudo estão representados na Tabela 12. Os maiores percentuais de fração parede foram encontrados para as árvores que cresceram com menor grau de estresse (47,9%). Os valores encontrados são indicativos de fibras indicadas para a produção de papéis de imprimir e escrever, uma vez que para papéis absorventes seriam interessantes valores maiores.

Rodrigues (2010) aplicando índices de qualidade de fibras em dois clones de *Eucalyptus grandis* encontrou valores de FP (%) nas seis regiões de estudo, variando de 35,50 a 41,95% para o clone 1 e de 41,15 a 51,58% para um

determinado. Os valores mais altos foram considerados indicativos para utilização das madeiras para produção de papéis absorvente, uma vez que seus maiores valores indicam um afrouxamento da rede fibrosa e uma baixa ligação entre as fibras.

Um índice de qualidade de fibras muito utilizado é o Índice de Runkel. Seus valores fornecem uma ideia de quanto a fibra é flexível para gerar ligações na população fibrosa (BALDI, 2001, citado por NISGOSKI, 2005). De acordo com uma classificação realizada por Caumo (2003), citado por Nisgoski (2005), quando os valores do IR estiver entre 0,25 e 0,50 a fibra apresentará boa flexibilidade fornecendo bons resultados na fabricação de papel. Quando os valores de IR estiverem entre 0,50 e 1,0 a fibra começa a ser menos flexível, se comparada ao intervalo anterior, apresentando assim características mecânicas modestas.

Os valores de Índice de Runkel encontrados para o presente estudo (Tabela 12) mostram índices que classificam-se no segundo intervalo relatado acima. As árvores que cresceram com menor grau de estresse apresentaram o maior valor médio para esse índice (1,0). Valores menores foram encontrados por Mauri (2010), estudando dois clones do híbrido *Eucalyptus urograndis* com idade de 6 anos no estado de Minas Gerais. A autora encontrou valores médios de Índice de Runkel de 0,69 e 0,71.

4.3.2. Massa específica aparente (densidade)

4.3.2.1. Densidade básica (cunha e bagueta)

A densidade básica por amostras em formato de cunha e bagueta foi realizada apenas para as árvores na idade de 57 meses ao nível do DAP (1,30m do solo). Os valores médios encontrados para a densidade básica amostradas das duas maneiras (Tabela 13) não diferiram estatisticamente ao nível de 5% de significância pelo teste t.

Tabela 13. Valores médios de densidade básica para as árvores de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em dois formatos de amostras: cunha e bagueta

Amostra	Densidade básica (g.cm⁻³)^{ns}
Cunha	0,475 (0,445) (0,512) (4,15)
Bagueta	0,470 (0,438) (0,497) (3,57)

* - Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t.

ns – Não significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t.

Os valores entre parênteses são mínimo(μ m), máximo(μ m) e coeficiente de variação(%), respectivamente.

Como não houve diferença da densidade básica do lenho das árvores de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 57 meses de idade, pode-se fazer a comparação da densidade básica tanto pelo método de cunha quanto pelo método de bagueta.

Os valores de densidade básica para as árvores com menor e maior grau de estresse determinados ao nível do DAP estão na Tabela 14.

Tabela 14. Valores médios de densidade básica do lenho das árvores de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 57 meses de idade nas duas situações de crescimento

Situação	Densidade básica (g.cm⁻³)^{ns}
Menor grau de estresse	0,476 (0,441) (0,512) (3,79)
Maior grau de estresse	0,467 (0,438) (0,504) (3,80)

* - Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t.

ns – Não significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t.

Os valores entre parênteses são mínimo(μ m), máximo(μ m) e coeficiente de variação(%), respectivamente.

A densidade básica das árvores ao nível do DAP aos 57 meses de idade nas duas situações de crescimento não diferiu estatisticamente ao nível de 5% de significância pelo teste t. O que indica que não existiu efeito do estresse abiótico sobre a densidade ao nível do DAP.

4.3.2.2. Densidade básica de cavacos

A densidade básica de cavacos foi determinada nas árvores de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* na idade de 42 meses e na idade de 57 meses em toda a extensão do fuste. Na Tabela 15 são apresentados os valores médios da densidade básica de cavacos para as árvores que cresceram com maior e menor grau de estresse nas duas idades estudadas.

Tabela 15. Valores médios de densidade básica de cavacos do lenho das árvores de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 57 e aos 42 meses de idade nas duas situações de crescimento

Idade	Situação	Densidade básica de cavacos (g.cm⁻³)
42 meses	Menor grau de estresse	0,488 ^{ns} (0,483) (0,497) (1,60)
	Maior grau de estresse	0,491 (0,490) (0,492) (0,20)
57 meses	Menor grau de estresse	0,497 [*] (0,485) (0,511) (1,78)
	Maior grau de estresse	0,474 (0,451) (0,489) (2,09)

* - Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t.

ns – Não significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t.

Os valores entre parênteses são mínimo(μ m), máximo(μ m) e coeficiente de variação(%), respectivamente.

Os valores médios de densidade básica de cavacos presentes na Tabela 16 foram estatisticamente diferentes ao nível de 5% de significância pelo teste t somente para as árvores com idade de 57 meses. Na avaliação da densidade básica dos cavacos na idade de 42 meses as médias para as duas condições de crescimento não diferiram estatisticamente.

4.3.2.3. Densidade aparente por densitometria de raios-X

Os valores de densidade aparente radial do lenho das árvores estudadas são ilustradas na forma de perfis densitométricos. Nas Figuras 16 e 17 estão os perfis densitométricos para as árvores de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 57 meses de idade com menor grau de estresse ao nível do DAP (1,30m do solo).

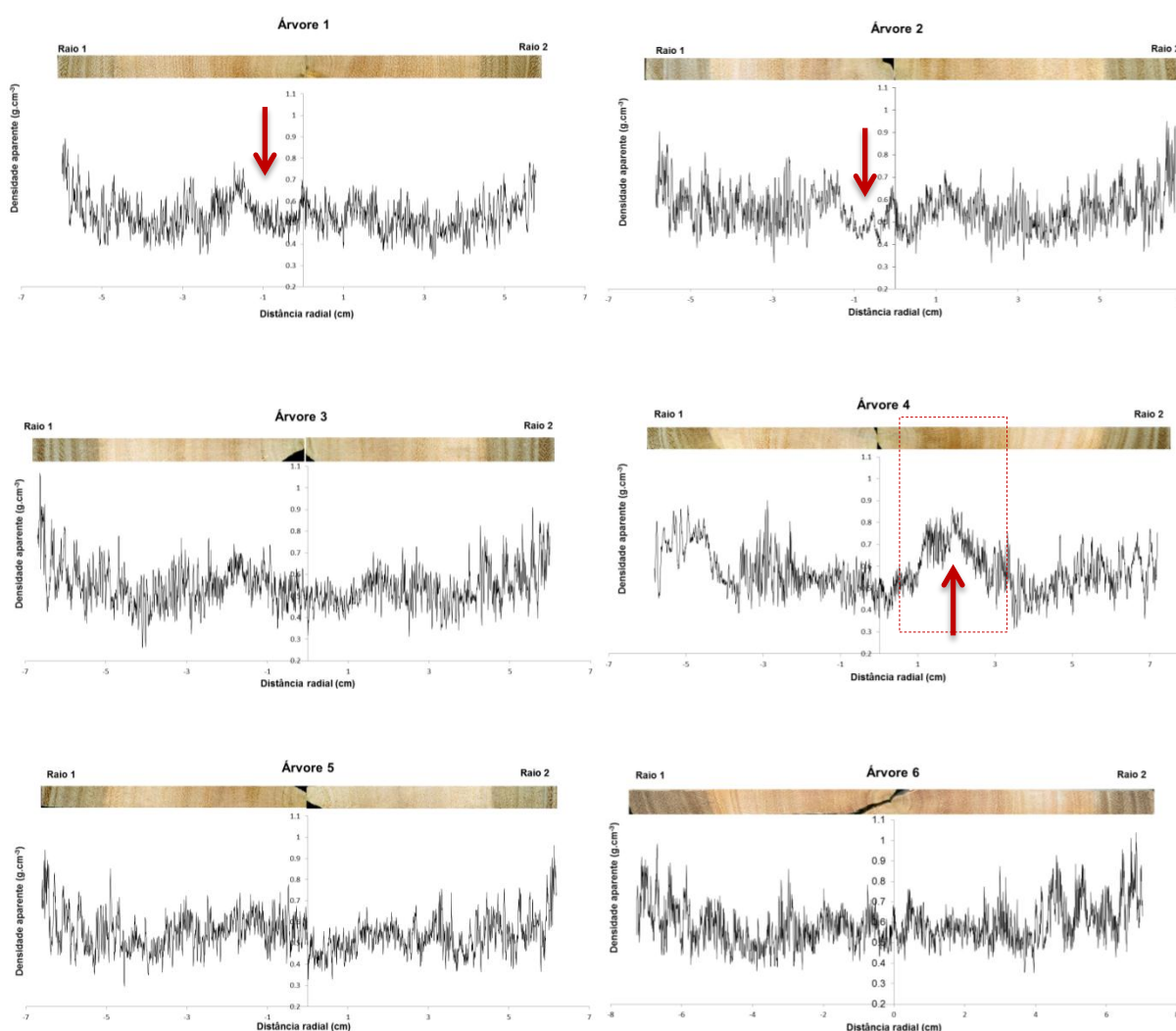


Figura 15. Perfis de densidade aparente para o lenho das árvores 1 a 6 de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com menor grau de estresse.

Segundo Barrichelo et al. (1982), o estudo da variabilidade da densidade no lenho das árvores é de grande importância na área de tecnologia de polpa

celulósica, uma vez que a madeira varia tanto no sentido radial quanto no sentido longitudinal, entre gêneros, entre espécies e dentro de uma mesma árvore.

Os perfis de densidade das árvores ilustradas na Figura 16 evidenciam pouca variação dessa propriedade no sentido medula-casca, exceto para árvore 4 que apresentou maior variabilidade. O raio 2 dessa árvore apresentou um pico característico de densidade próximo à medula ocasionado por uma zona fibrosa do lenho. Essa mesma árvore também possuiu o maior valor médio de densidade básica ($0,59 \text{ g.cm}^{-3}$) dentre as seis árvores ilustradas na Figura 16.

Com o objetivo de verificar essa camada fibrosa anormal no raio 2 da árvores 4 (em destaque), foi realizado um teste de dupla coloração usando a safranina e o azul de astra como corantes para detectar madeira de reação. Com o procedimento foi possível verificar uma zona com fibras de camada gelatinosa, destacada pelo corante azul de astra, atestando o lenho anormal (madeira de tração).

A árvore 1 possuiu o menor valor médio de densidade aparente pelo método de raios-X ($0,53 \text{ g.cm}^{-3}$) e um perfil densitométrico com menor variação. Pode-se destacar também uma leve queda característica da densidade aparente no raio 1 das árvore 1 e 2 provavelmente ocasionada por uma área do lenho com fibras de pequena espessura de parede.

Na Figura 17 são ilustradas as outras seis árvores de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 57 meses de idade com menor grau de estresse.

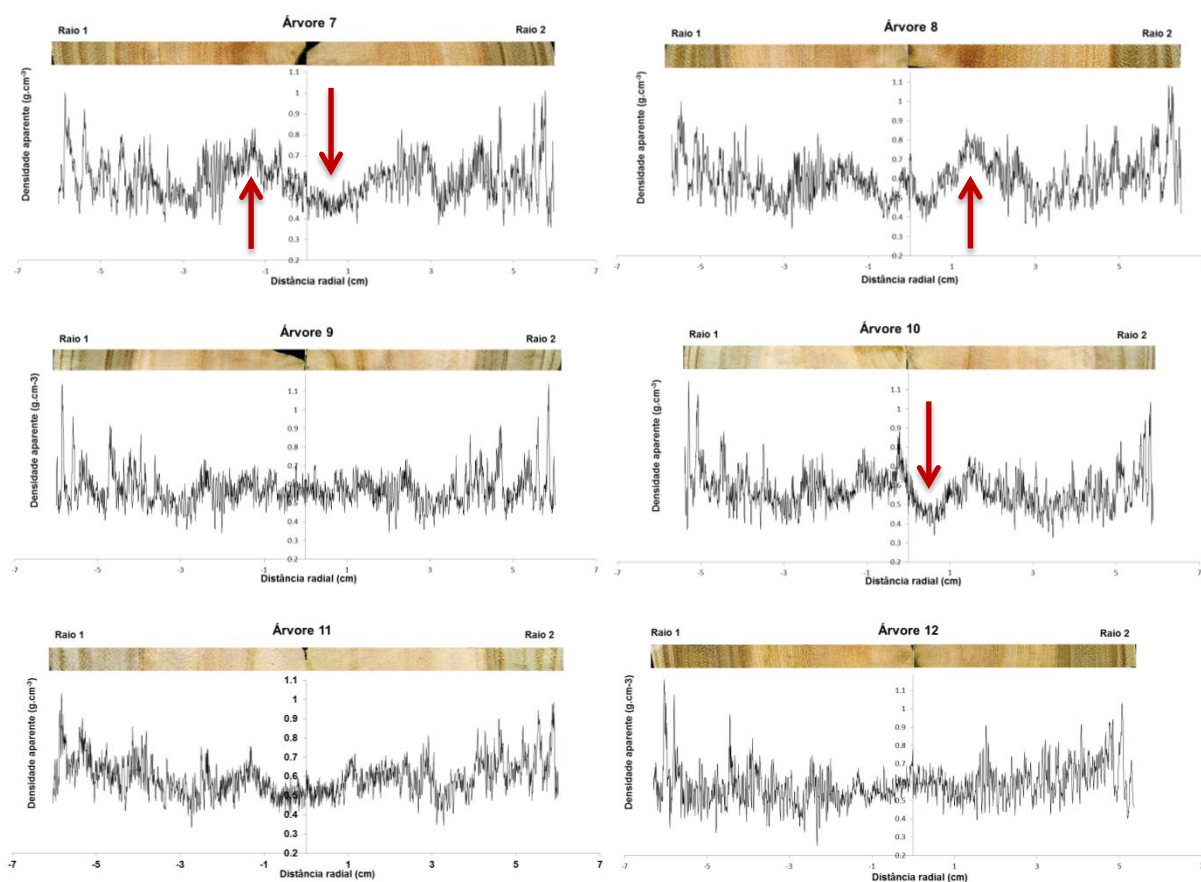


Figura 16. Perfis de densidade aparente para o lenho das árvores 7 a 12 de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com menor grau de estresse.

Os perfis densitométricos ilustradas na Figura 18 evidenciam uma distribuição da densidade aparente no sentido medula-casca em comum para as árvores, com picos característicos de densidade nas extremidades próximas à casca, onde podem ser facilmente observados anéis de crescimento contrastantes no lenho. Entretanto, observa-se que a 7 apresentou uma variação da densidade aparente de maneira inversa nos primeiros centímetros próximos à medula. Esse indivíduo apresentou uma tendência de aumento da densidade aparente no raio 1 e uma queda de densidade no raio 2, como pode ser observado pelas setas indicativas.

Vale ressaltar uma queda de densidade próxima à medula do raio 2 da árvore 10 e o inverso para árvore 8, que apresentou o maior valor médio da densidade aparente (0.60 g.cm^{-3}). O menor valor médio de densidade aparente encontrado nas 6 árvores destacadas na Figura 18 foi de 0.57 g.cm^{-3} para árvore 9.

Ao contrário das árvores com menor grau de estresse, as árvores estudadas na área com maior grau de estresse, apresentadas nas Figura 18 e 19, evidenciaram perfis densitométricos com mais variações de densidade aparente (picos de densidade).

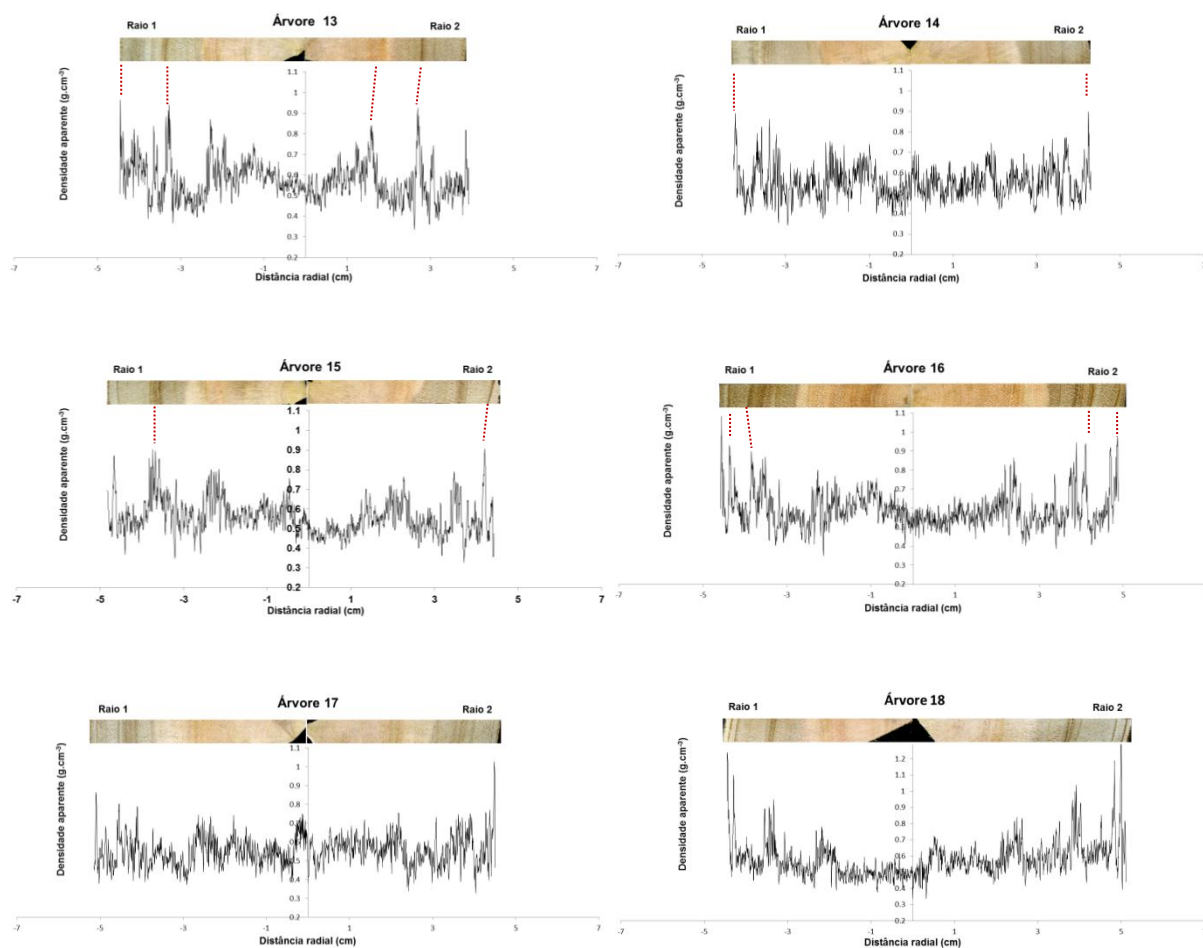


Figura 17. Perfis de densidade aparente para o lenho das árvores 13 a 18 de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com maior grau de estresse.

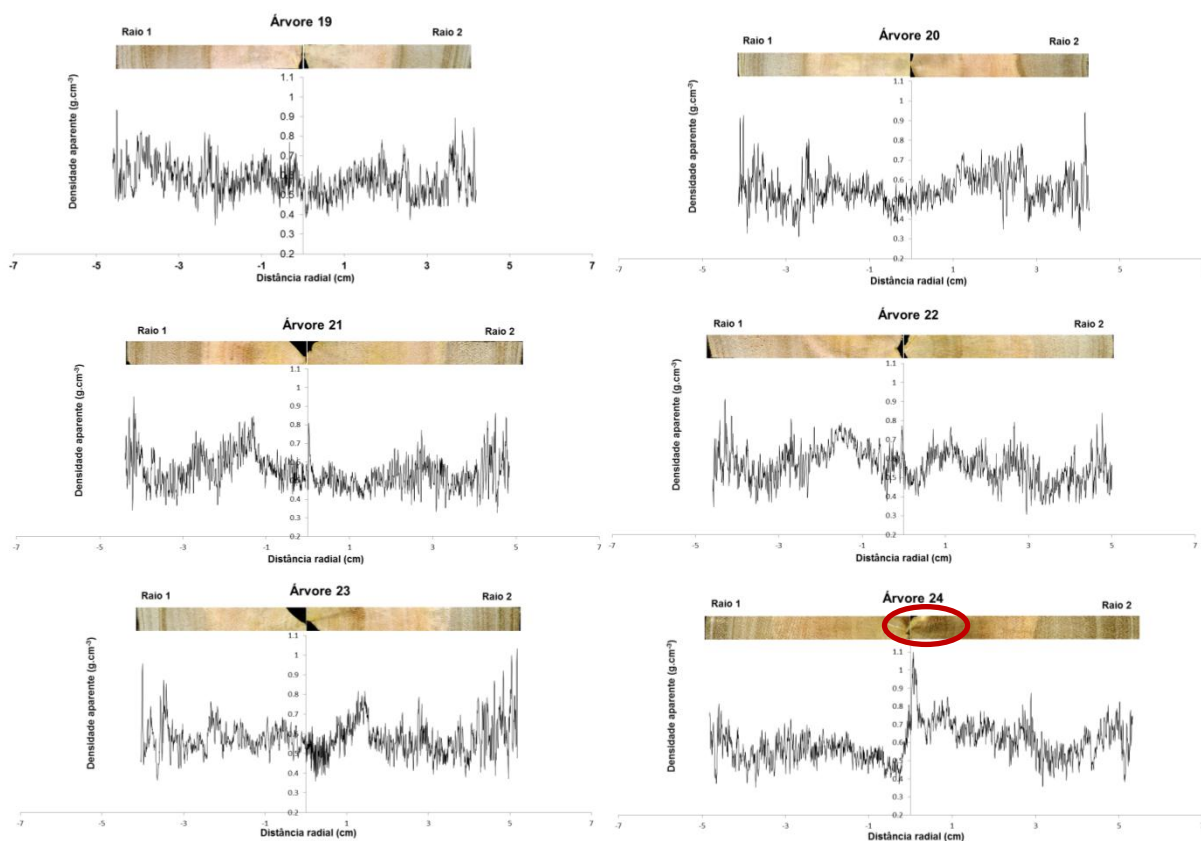


Figura 18. Perfis de densidade aparente para o lenho das árvores 19 a 24 de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com maior grau de estresse.

A árvore 24 apresentou o maior pico de densidade aparente na região próximo à medula dentre os perfis analisados. Tal fato é explicado pela presença de um nó, como pode ser observado na figura da seção radial do raio 2. Mauri (2010) estudando a variação radial da densidade aparente de árvores de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, também diagnosticou tal situação em alguns indivíduos na sua análise.

De maneira geral, para as árvores representadas nas Figuras 16, 17, 18 e 19 nota-se um nítido aumento da densidade aparente no sentido medula-casca. Variação esta encontrada em trabalhos que tiveram por objetivo verificar o comportamento radial da densidade aparente de árvores de *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla* pela técnica de densitometria de raios-X (ALZATE, 2004; ARANGO, 2004, DUARTE, 2007; MAURI, 2010).

É interessante ressaltar que, apesar dos perfis densitométricos das árvores aqui estudadas serem relativos ao mesmo material genético de mesma idade, é possível verificar uma grande variação entre eles.

Os valores médios, mínimos e máximos de densidade aparente determinados por densitometria de raios-X para árvores de maior e menor grau de estresse pode ser observado na Tabela 16.

Tabela 16. Densidade aparente média, mínima e máxima do lenho das árvores de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 57 meses de idade

Situação	Densidade aparente (g.cm ⁻³)		
	Média	Mínimo	Máximo
Menor grau de estresse	0,57 ^{ns} (16,82)	0,32	1,03
Maior grau de estresse	0,57 (15,60)	0,33	1,01

* - Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t.
ns – Não significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t.
Os valores entre parênteses são referentes ao coeficiente de variação (%).

Não houve diferença significativa para os valores médios de densidade aparente pela técnica de raios-X para as duas situações de crescimento das árvores. Os valores mínimos e máximos de densidade aparente também não foram significativos. Pode-se verificar que apesar de apresentar padrões um pouco distintos de distribuição radial da densidade, o estresse abiótico não influenciou nos valores médios de densidade aparente a nível do DAP.

Todavia, é importante considerar que a técnica de densitometria de raios-X permite a obtenção de valores de densidade em intervalos lineares das amostras em micrômetros. Dessa maneira, os valores que se apresentam muito baixos podem ser um ponto com presença de vaso ou parênquima e os altos valores podem ser de um ponto correspondente a parede de uma fibra, por exemplo (DUARTE, 2004).

Por meio dos perfis densitométricos foi possível observar a qualidade do lenho das árvores de *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla* que cresceram em duas condições de estresse. Essa técnica permitiu a visualização do crescimento e as variações de densidade ao longo do crescimento diametral.

4.3.3. Química da madeira

A composição química da madeira é considerada de grande importância para a produção de polpa celulósica, uma vez que altos teores de lignina e extrativos presentes na madeira irão influenciar negativamente no consumo de álcali e no rendimento final em celulose. Assim como maiores teores de hemiceluloses apresentam características de melhorar o rendimento do processo de polpação.

Na Tabela 17 são apresentados os valores médios da análise química (extrativos, lignina e pentosanas) para o lenho das árvores de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 42 e 57 meses de idade

Tabela 17. Valores médios para extrativos, lignina e pentosanas para árvores de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 42 e 57 meses de idade

Idade	Situação	Extrativos Etanol/Tolueno (%)	Extrativos Acetona (%)	Lignina Total (%)	Pentosanas (%)
42 meses	Menor grau de estresse	1,09*	1,01*	28,26*	15,61 ^{ns}
	Maior grau de estresse	1,80	2,00	30,82	16,29
Idade	Situação	Extrativos Etanol/Tolueno (%)	Extrativos Acetona (%)	Lignina Total (%)	Pentosanas (%)
57 meses	Menor grau de estresse	2,14*	1,92*	30,70 ^{ns}	16,19 ^{ns}
	Maior grau de estresse	1,58	1,31	31,06	16,46

* - Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t.

ns – Não significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t.

De acordo com os valores médios da análise química aos 42 meses de idade apresentado na Tabela 17 as médias dos teores de extrativos em etanol/tolueno(%) e acetona (%) diferiram estatisticamente ao nível de 5% de significância pelo teste t. Os valores de hemiceluloses representados pelas

pentosanas não diferiram estatisticamente pelo teste t ao nível de 5% de significância. Verifica-se para essa idade um aumento de mais de 60% para teor de extrativos em etanol/tolueno(%), que passou de 1,09(%) em árvores com menor grau de estresse para 1,80(%) em árvores com maior grau de estresse. Aumento significativo também foi observado para os extrativos em acetona (%) que passaram de 1,01(%) em árvores de menor grau de estresse para quase o dobro (2,0 %) em árvores que cresceram com maiores níveis de estresse. Nos valores referentes a lignina foi possível verificar um aumento de 9% das árvores com menor grau de estresse para as árvores com maior estresse. Esse aumento dos percentuais de extrativos e lignina é considerado alto, uma vez que se trata de um mesmo material genético plantado na mesma área com idades iguais.

Para a idade de 57 meses houve diferença estatística ao nível de 5% de significância pelo teste t apenas para os teores médios de extrativos em etanol/tolueno (%) e acetona (%). Entretanto, foi possível constatar que os valores médios para as duas situações se comportaram de maneira inversa se comparada à análise realizada aos 42 meses, uma vez que para tais teores houve uma redução média entorno de 29% dos teores de extrativos para as árvores com maior grau de estresse em relação aos indivíduos que cresceram com menor grau de estresse. Cabe ressaltar que tal comportamento pode ser explicado pela maneira de amostragem das árvores, ou seja, na coleta aos 42 anos foram selecionados indivíduos levando em conta o lado visual do problema. Ao contrário da coleta aos 57 que foi distribuída de maneira representativa em todo o talhão.

Duarte (2007) estudou o lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com idade de 5 e 6 anos plantadas no estado de São Paulo e com idade de 6 anos provenientes de plantios dos estado da Bahia. A autora encontrou valores de lignina total de 24,53% e 25,79% para árvores de 5 e 6 anos, respectivamente, plantadas no estado de São Paulo e para as árvores de 6 anos plantadas no estado baiano o valor médio para lignina total foi de 30,06%.

Costa (2011) estudando as propriedades químicas da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 6 anos provenientes do Distrito Federal encontrou valores altos para teores de extrativos totais (8,1%) e valores médios de lignina total de 27,13%.

Em pesquisa realizada por Braz (2011) com árvores mais jovens (33 meses) de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* no estado de Minas Gerais foi possível verificar valores de lignina variando 29,89% a 32,87%.

Em um estudo pontual realizado pela empresa Veracel (2011) em três clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 5 anos de idade foi possível verificar valores médios de extrativos em etanol/tolueno de 2,12%, extrativos em acetona de 1,79%, lignina total de 29,41% e pentosanas em 16,14%. Tais valores são referentes a uma avaliação interna da empresa e não contou com uma grande amostragem. Entretanto, são consoantes com os resultados aqui encontrados.

4.3.4. Polpação

Para determinação das variáveis de cozimento, adotou-se o padrão de cozimento do Centro de Pesquisa da empresa Fibria, com um número kappa em 18 ± 1 e um residual de álcali entre 1 e 5g/l. Na Tabela 189 são apresentados os valores médios para as variáveis de polpação das árvores com menor e maior grau de estresse aos 42 meses de idade.

Tabela 18. Valores médios das variáveis de polpação CA – Carga Alcalina (%), T°C – Temperatura (°C), RA – Residual de Álcali, RD – Rendimento Depurado (%) e CEA – Consumo específico aparente (m³/t_{sa}). para madeira de árvores aos 42 meses *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* nas duas situações de crescimento

Situação	CA (%)	T (°C)	Kappa	RA* (g/l)	RD (%)	CEA (m ³ /t _{sa})
Menor grau de estresse	16,0 ^{ns}	147	17,7	1,73*	55,83*	3,49*
Maior grau de estresse	18,0	148	18,3	3,02	51,47	3,76

* - Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t.

ns – Não significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t.

A partir dos dados encontrados, pode-se observar uma grande quantidade de carga alcalina utilizada na madeira que cresceu sob maior grau de estresse para

chegar aos padrões de cozimento estabelecidos. O aumento da carga alcalina para ocorrer à deslignificação na segunda condição de crescimento refletiu em um menor rendimento depurado do material e conseqüentemente em um maior valor do Consumo Específico Aparente. Em outras palavras, a madeira sob efeito do estresse gerou um maior consumo de reagentes em relação à madeira que cresceu sob menor grau de estresse.

Cabe ressaltar ainda que, o baixo volume de madeira produzido pelas árvores que cresceram sob maior grau de estresse aliado aos maiores teores de extrativos e lignina encontrados na madeira, refletiu em um cozimento que exigiu uma maior carga de reagentes e fez com que esse material tivesse uma queda de 4% do seu rendimento depurado. Esse comportamento deve ser levado em consideração, uma vez que poderá gerar problemas em relação ao abastecimento de madeira na fábrica.

O rendimento da polpação pode ser considerado um dos principais parâmetros na avaliação da qualidade da madeira para produção de pasta celulósica, uma vez que está diretamente relacionado com as estruturas anatômicas e químicas da madeira, a demanda de carga alcalina, a produção do digestor e a carga de sólidos para a caldeira de recuperação (GOMIDE e COLODETTE, 2007).

Os valores aqui encontrados são consoantes com os da análise química apresentado na Tabela 17, onde os valores referentes aos teores de extrativos e lignina foram maiores na madeira com maior grau de estresse.

Com o objetivo de diluir o efeito negativo da madeira com maior grau de estresse no processo de polpação, foi realizada uma composição de amostras para cozimento. Foram utilizadas amostras de cavacos (“mix”) representativos para abastecimento fabril e estes foram dosados com percentuais de cavacos da madeira que cresceu sob maior grau de estresse. As dosagens utilizadas foram 80%, 20% e 10%. Os valores encontrados para os cozimentos estão dispostos na Tabela 19.

Tabela 19. Valores médios das variáveis de polpação CA – Carga Alcalina (%), T°C – Temperatura (°C), RA – Residual de Álcali, RD – Rendimento Depurado (%) e CEA – Consumo específico aparente (m³/tsa) para composição de madeira de árvores aos 42 meses *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com maior grau de estresse e um mix de cozimento

Composição	CA (%)	T (°C)	Kappa	RA (g/l)	RD (%)	CEA (m³/tsa)
Mix de madeiras	15.5d	147,0 b	18.5 a	1.16 b	54.67 a	3.59b
90% Mix + 10% de maior grau de estresse	17,1 b	146,7 b	18,2 a	3,42 a	54,32 a	3,51b
80% Mix + 20% de maior grau de estresse	16.5 c	146 c	18.6 a	1.45 b	54.30 a	3.64 ab
20% Mix + 80% de maior grau de estresse	18.5 a	148 a	17.8 a	4.21 a	52.11 b	3.73 a

Valores médios seguidos de mesma letra, não diferem estatisticamente entre si (Tukey, p>0,05).

De acordo com os valores presentes na Tabela 19, o mix de madeiras apresentou excelentes resultados no cozimento, uma vez que apresentou o maior valor de rendimento depurado e menor consumo específico aparente. Entretanto, quando este foi dosado com 80% do material afetado pelo estresse ocorreu um aumento do consumo de reagentes, uma vez que a carga alcalina saiu de 15,5% para 18,5%, apresentando assim, os piores resultados referentes aos cozimentos da Tabela 19, com um rendimento depurado de 52,11% e um CEA de 3,73m³/tsa.

Quando a dosagem do material com maior grau de estresse caiu para 20%, o consumo de álcali também diminuiu e o cozimento apresentou um RD de 54,30% com um CEA de 3,64. Entretanto, quando dosado com apenas 10% do material afetado pelo maior grau de estresse, a deslignificação exigiu um pouco mais de CA que a dosagem de 20%. Porém apresentou os valores de RD e CEA menores, apesar de suas médias não terem sido estatisticamente diferentes.

Dessa maneira, indica-se um percentual máximo de uso do material sob maior grau de estresse no processo fabril abaixo de 10%.

Para a idade de 57 meses analisou-se somente as variáveis de polpação para a madeira das árvores que cresceram com menor grau de estresse versus as árvores com maior grau de estresse. Na Tabela 20 são apresentados os valores médios para polpação.

Tabela 20. Valores médios das variáveis de polpação CA – Carga Alcalina (%), T°C – Temperatura (°C), RA – Residual de Álcali, RD – Rendimento Depurado (%) e CEA – Consumo específico aparente (m³/tsa) para madeira de árvores aos 57 meses de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* nas duas situações de crescimento

Situação	CA (%)	T (°C)	Kappa	RA* (g/l)	RD (%)	CEA (m ³ /tsa)
Menor grau de estresse	17,6 ^{ns}	149	18,07	3,28	52,10 ^{ns}	3,67*
Maior grau de estresse	17,47	150	17,53	3,10	51,54	3,89

* - Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t.

ns – Não significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t.

Houve diferença estatística ao nível de 5% de significância pelo teste t somente para a variável de Consumo Específico Aparente (m³/tsa), que apresentou maior valor na madeira que cresceu sobre maior grau de estresse. Este fato está relacionado ao maior consumo de madeira em metros cúbicos.

A densidade básica de cavacos das árvores que cresceram com maior grau de estresse foi menor se comparada a outra situação. Nesse caso, tal fato aliado a um aumento da temperatura de cozimento pode ter contribuído para menores valores de rendimento depurado e maior consumo específico aparente. Segundo Gomide et al. (2005), a utilização de madeiras de baixa densidade irá resultar em consumo específico de madeira mais elevado, o que constitui significativa desvantagem, principalmente quando a empresa possui alguma limitação no fornecimento de matéria prima.

5. CONCLUSÕES

O crescimento das árvores do clone híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* sob efeito estresse abiótico influenciou negativamente nas propriedades da madeira e nos parâmetros de polpação para a produção de celulose.

Em relação às variáveis dendrométricas, ficou evidente que as árvores que cresceram sob com maior grau de estresse apresentaram os menores valores relativos à altura e diâmetro, o que refletiu no volume de madeira produzido. As árvores sob efeito do estresse produziu metade do volume de madeira produzido pelas árvores menos afetadas pelo problema.

As árvores que cresceram com maior grau de estresse apresentaram os menores valores referentes ao diâmetro tangencial dos vasos e maiores valores referentes à frequência desse elemento anatômico. Verificou-se que as árvores que cresceram com maior grau de estresse desenvolveram fibras mais curtas e menos espessas que aquelas que cresceram com menor grau do estresse. Tal aspecto refletiu nos índices de qualidade das fibras, onde as árvores com menor grau de estresse apresentou valores mais atrativos para a produção de pasta celulósica.

A avaliação da densidade ao nível do DAP (1,30 m do solo) não sofreu influência do estresse. Entretanto, quando tomada ao longo de todo o fuste na forma de cavacos, pode-se verificar valores menores para as árvores que cresceram com maior grau de estresse. Mesmo se tratando de um mesmo material genético, com mesma idade e plantado numa mesma área, a técnica de densitometria de raios-X permitiu verificar uma variação da densidade tanto intra quanto interanel.

Relativo à composição química, de maneira geral, árvores que cresceram com maior grau de estresse produziram maiores teores de extrativos e lignina. Tal fato adicionado ao menor valores de densidade refletiu Nos parâmetros de polpação desse material, uma vez que obteve menores valores de rendimento depurado e maior valor do consumo específico aparente.

Quando o material com maior grau de estresse foi dosado em mix de madeira da empresa, verificou-se que quanto menor sua utilização num mix de madeira, melhores serão os parâmetros de cozimento. Nesse caso, recomenda-se

que o percentual máximo de do material sob condições de estresse deverá ser inferior a 10%.

Vale ressaltar que apesar da densidade básica tomada ao nível de DAP ser considera um dos parâmetros mais importante nos estudos de qualidade da madeira. Ela por si só não deve ser considerada para estudo relativos à produção de celulose.

É importante que num programa de melhoramento florestal os genótipos utilizados apresentem menor sensibilidade às variações do ambiente. E ainda é interessante que as diferenças existentes na absorção e uso eficiente de água e nutrientes entre diferentes materiais genéticos de eucalipto sejam levados em consideração nesses programas de melhoramento.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT -ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Ensaio físicos e mecânicos da madeira – **MB-26/40**. Rio de Janeiro: 1940. 16p.
- ALENCAR, G. S. B. **Estudo da qualidade da madeira para produção de celulose relacionada à precocidade na seleção de híbrido *E. grandis* x *E. urophylla***. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo, Piracicaba, 145 f. 2002.
- ALZATE, S. B. A. **Caracterização da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *E. grandis* x *urophylla***. 133f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais), Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2004. Disponível em: <<http://www.ipef.br/servicos/teses/arquivos/alzate,sba.pdf>>. Acesso em 27 nov. 2012.
- ALZATE, S. B. A.; TOMAZELLO FILHO, M.; PIEDADE, S. M. S. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *E. saligna* Sm. e *E. grandis* x *urophylla*. **Revista Scientia Forestalis**, n. 68, p.87-95, ago. 2005. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr68/cap08.pdf> >. Acesso em: 02 dez. 2011.
- ARANGO, A.S.B. **Caracterização da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus grandis*, *E. saligna* e *E. grandis* x *urophylla***. 2004, 133 p. Dissertação (Doutorado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- ASSIS, T. F. **Aspectos do melhoramento de *Eucalyptus* para obtenção de produtos sólidos da madeira**. In: Técnicas de abate, processamento e utilização da madeira de eucalipto. Viçosa-MG, 1999.
- ASSIS, T.F.; MAFIA, R.G. **Hibridação e clonagem**. In: BORÉM, A. (Ed) Biotecnologia florestal. Viçosa, MG, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL – BRACELPA. **Relatório Anual 2009**: Disponível em:<<http://www.bracelpa.org.br/bra/estatisticas/pdf/anual/rel2008.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. **Anuário Estatístico da ABRAF**: ano base 2011, Brasília, p.150, 2012. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF10-BR.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 11941: Madeira – Determinação da densidade básica**. Rio de Janeiro: 2003. 6p.
- BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J.O. Potencialidade de espécies tropicais de eucalipto para a produção de celulose sulfato branqueada. **IPEF**, Piracicaba, n.13, p.9-38, 1976. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr13/cap01.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2011.

BARRICHELO, L.G.; BRITO, J.O.; MIGLIORINI, A. Estudo longitudinal da densidade básica de *Eucalyptus spp.* **Silvicultura**, São Paulo, v. 8, n. 28, p. 726-730, 1982.

BERTOLA, A. **Eucalipto - 100 Anos de Brasil**: “Falem mal, mas continuem falando de mim!”. s.d. Disponível em: http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Eucalipto_100%20anos%20de%20Brasil_Alexandre_Bertola.pdf. Acesso em: 10 de set.2012.

BRACELPA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. **Dados do setor: Dezembro – 2012**. Conjuntura Bracelpa, Ed. 49. 2012. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/conjuntura/CB-049.pdf> >. Acesso em: 03 jan.2013.

BRAZ, R. L. **Caracterização do lenho de árvores de clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em áreas sujeitas a danos por ventos**. 81f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre,2011.

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

COLODETTE, J.L.;MOKFIENSKI, A.; GOMIDE, J.L.; OLIVEIRA, R.C. Relative importance of wood density and carbohydrate content on pulping yield and product quality. **Journal of Tianjin University of Science and Technology**. Vol 19 Supp. Book A, p. 71-80 (2004).

COMISION PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS – COPANT. **Descripción de características generales, macroscópicas de las maderas angiospermas dicotiledóneas**, v.30, p. 1-19, 1974.

COMISION PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS – COPANT. **Descripción de características generales, macroscópicas de las maderas angiospermas dicotiledóneas**, v.30, p. 1-19, 1974.

CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA – CIB. **Guia do eucalipto**: oportunidades para um desenvolvimento sustentável. maio, 2008. Disponível em: <http://cib.org.br/wp-content/uploads/2011/10/Guia_do_Eucalipto_junho_2008.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2012.

COSTA, J.A. **Qualidade da madeira de *Eucalyptus urograndis*, plantado no Distrito Federal, para a produção de celulose**. 86f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

DUARTE, F. A. S. **Avaliação da madeira de *Betula pendula*, *Eucalyptus globulus* e de híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* destinadas à produção de polpa celulósica Kraft**. 2007. 107 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2007.

EMBRAPA SOLOS UEP RECIFE. **Levantamentos de solos dos estados do Nordeste** 2006. Disponível em: < <http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos/>>. Acesso em: 25 jan. 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (Embrapa — CNPS. Documentos, 1).

FAGERIA, N.K. & STONE, L.F. Qualidade do solo e meio ambiente. **Documento Embrapa Arroz e Feijão**, 197. Santo Antônio de Goiás, Embrapa Arroz e Feijão, 2006. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAF/25088/1/doc_197.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2013.

FIBRIA CELULOSE S.A. Avaliação sobre desempenho do clone com distúrbio de crescimento. Centro de Tecnologia. **Relatório Técnico**: Aracruz, ES, 2010.

FOELKEL, C. E. B. Madeira do eucalipto: da floresta ao digestor. **Boletim informativo**. I Congresso brasileiro sobre qualidade da madeira. São Paulo, 25f. nov. 1978. Disponível em: <http://www.celso-oelkel.com.br/artigos/outros/Madeira%20do%20eucalipto_%20da%20floresta%20ao%20digestor.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2013.

FOELKEL, C. E. B. **Qualidade da madeira de eucalipto para atendimento das exigências do mercado de celulose e papel**. (s.d.). Disponível em:<<http://www.celso-foelkel.com.br/artigos32%20final.doc>>. Acesso em: 16jan. 2013.

FOELKEL, C. **Propriedades papeleiras das árvores, madeiras e fibras celulósicas dos eucaliptos**. 2009. Disponível em: www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT14_PropPapeleiras.pdf. Acesso em: 10 mar 2012.

FOELKEL, C.E.B. **Estrutura da Madeira**. Belo Oriente: Cenibra. 1977. 84p.

FONSECA, S.M.; OLIVEIRA, R.C.; SILVEIRA, P.N. Seleção da árvore industrial – procedimentos, riscos, custos e benefícios. **Revista Árvore**, v.20, n.1, 1996, p.69-85.

GAVA, J. L.; GONÇALVES, J. L. M. Soil attributes and Wood quality for pulp production in plantation of *Eucalyptus grandis* clone. **Scientia Agricola.**, Piracicaba, n. 65, n.3, p. 306-313, 2008. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-90162008000300011&script=sci_arttext>. Acesso em: 11 jan. 2013.

GOMIDE, J. L.; FANTUZZI NETO, H.; LEITE, H. G. Estratégia de análise da qualidade da madeira de *Eucalyptus* sp para produção de celulose kraft. **Revista Árvore**, v.28, n.3, p.443-4507, 2004.

GOMIDE, J.L.; COLODETTE, J.L. **Qualidade da madeira**. In: BORÉM, A. (Ed) Biotecnologia florestal. Viçosa, MG, 2007.

GOMIDE, J.L.; COLODETTE, J.L.; OLIVEIRA, R.C.; SILVA, C.M. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. **Revista Árvore**, v.29, n.1, p.129-137. 2005.

GOMIDE, J.L.; FANTUZZI NETO, H.; REGAZZI, A.J, Análise de critérios de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose kraft. **Revista Árvore**, v.34, n.2, p.339-344, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-67622010000200017&script=sci_arttext>. Acesso em: 20 jan. 2013.

GONÇALVES, F. G.; OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA, G. F.; NAPPO, M. E.; TOMAZELLO Fo, M. Parâmetros dendrométricos e correlações com propriedades tecnológicas em um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**. vol.34, n.5, Viçosa -MG, 2010. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-67622010000500020&script=sci_arttext. Acesso em: 15 jan. 2013.

GOUVÊA, A. F. G.; TRUGILHO, P. F.; COLODETTE, J.L.; LIMA, J. T.; SILVA, J.R.M.; GOMIDE, J.L. Avaliação da madeira e da polpação kraft em clones de eucaliptos. **Revista Árvore**, v.33, n.6, Viçosa-MG, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-67622009000600020&script=sci_arttext>. Acesso em: 12 dez. 2012.

GRATTAPAGLIA, D. Genolyptus: Rede Brasileira de Pesquisa do Genoma de Eucalyptus. In: WORKSHOP SOBRE MELHORAMENTO DE ESPÉCIES FLORESTAIS E PALMÁCEAS NO BRASIL. **Anais**. Colombo: Embrapa Floresta. Documento 62. 2001. Disponível em: <<http://www.cnpf.embrapa.br/publica/seriedoc/edicoes/doc62.pdf> >. Acesso em: 10 de ago. 2012.

GRATTAPAGLIA, D. **Projeto Genolyptus**: rede brasileira de pesquisa do genoma de Eucalyptus. Palestra. s.d. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/painelsetorial/palestras/Genolyptus_DarioGrattapaglia.pdf>. Acesso em: 07 nov. 2012

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos, São Paulo. Editora Rima, 531p. 2000

LIVEIRA, B. R. U.; LATORRACA, J. V. F.; TOMAZELLO Fo, M.; GARCIA, R. A.; CARVALHO, A. M. Correlações dendroclimatológicas do *Eucalyptus grandis* hill ex Maiden na região de Rio Claro, RJ. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 499-508, jul.-set. 2011. Disponível em:<<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/view/3807>>. Acesso em: 15 jan. 2013

MAURI, R. **Anatomia e densidade do lenho de clones de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, com variação de altitude e de topografia, no estado de Minas Gerais**. 2010. 105f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2010.

MAURI, R. **Anatomia e densidade do lenho de clones de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, com variação de altitude e de topografia, no estado de Minas Gerais**. 105f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre,2010.

MOKFIENSKI, A. **Importância relativa da densidade básica e da constituição química de madeira de *Eucalyptus spp.* no rendimento, branqueabilidade e qualidade da polpa kraft.** 153f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004. Disponível em: < http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_arquivos/3/TDE-2008-09-26T062734Z-1402/Publico/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2011.

NISGOSKI, S. **Espectroscopia no infravermelho próximo no estudo de características da madeira e papel de *Pinus taeda* L.** 173f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005. Disponível em: <http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/pdf_dr/2005/t186_0213-D.pdf>. Acesso em: 15 jan.2013.

NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. **Nutrição mineral do eucalipto.** In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F., eds. Relação solo-eucalipto. Viçosa, Folha de Viçosa, 1990. p.25-98.

NUTTO, L. Die **Eukalyptus-Plantagenwirtschaft in Brasilien –nachhaltige Holzproduktion oder ökologisches Desaster?** Wald und Holz , 2007. Disponível em:<http://www.waldwissen.net/lernen/weltforstwirtschaft/wsl_eukalyptusplantagen_brasilien/index_DE>. Acesso em: 04 nov. 2012.

ODA, S.; MELLO, E. J.; SOUZA, I. C. G. **Melhoramento Florestal.** In: BORÉM, A. (Ed) Biotecnologia florestal. Viçosa, MG, 2007.

OLIVEIRA, J. T. S.; OLIVEIRA, J. G. L.; MURO ABAD, J. I.; BRAZ, R. L.; RODRIGUES, B. P.; FANTUZZI NETO, H. Influência de três locais de crescimento na espessura de cerne e alborno da madeira de *Eucalyptus grandis*. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA. 12., 2010, Lavras. **Anais do XII EBRAMEM**, 2010.

OLIVEIRA, J.T.S.; HELLMEISTER, J.C.; SIMÕES, J. W.; TOMAZELLO Fo, M. Caracterização da madeira de sete espécies de eucaliptos para a construção civil: 1-avaliações dendrométricas das árvores. **Scientia forestalis**. n. 56, p. 113-124, dez. 1999. Disponível em: < <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr56/cap08.pdf>>. Acesso em: 29 dez. 2012.

QUEIROZ, S. C. S.; GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C. 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**, v.28, n.6, p.901-909, Viçosa, MG, 2004. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v28n6/23992.pdf> >. Acesso em: 28 dez. 2012.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas, Instituto Agrônômico, 2001.

RAMALHO, R. S. **O uso de macerado no estudo anatômico de madeiras.** Viçosa. MG: UFV, 1987. 4p.

REJMÁNEK, M.; RICHARDSON, D.M.. **Eucalypts**. In: Encyclopedia of biological invasions. Simberloff, D. and Rejmánek, M. (eds.). University of California Press, Berkeley. p. 203-209. 2011. Disponível em: <http://academic.sun.ac.za/cib/team/staff/dmrichardson/documents/Rejmanek_%20Richardson_2011_Eucalypts.pdf>. Acesso em: 17 de out. 2012.

REVISTA DA MADEIRA – REMADE. **O potencial do eucalipto para a produção de madeira sólida**. n.75, ago. 2003. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=400&subject=Madeira%20S%F3lida&title=O%20potencial%20do%20eucalipto%20para%20a%20produ%20E3o%20de%20madeira%20s%F3lida> Acesso em: 23 nov. 2011.

RIGATTO, P. A.; DEDECK, R. A.; MATTOS, J. L. M. Influência dos atributos do solo sobre a produtividade de *Pinus taeda*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 701-709, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v29n5/a05v29n5.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2013.

RODRIGUES, B.P. **Utilização de parâmetros anatômicos da madeira de dois clones de híbridos naturais de *Eucalyptus grandis* como índices de qualidade para a produção de papel**. 45f Monografia de conclusão de curso (Tecnologia de Produtos Florestais). Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2010. Disponível em: <<http://www.florestaemadeira.ufes.br/sites/www.florestaemadeira.ufes.br/files/Tecnologia.PDF>>. Acesso em: 16 jan. 2013.

SANTOS, S.R. **Influência da qualidade da madeira de híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e do processo Kraft de polpação da polpa branqueada**. 2005. 178f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2005.

SILVA JUNIOR, F. G. **Conversão do processo kraft em soda DDA (sal disódico de 1,4-dihidro-9,10dihidroxi antraceno) para madeira de eucalipto**. 172 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.

SILVA, M. G. **Produtividade, idade e qualidade da madeira de *Eucalyptus* destinada à produção de celulose branqueada**. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo, Piracicaba, 95 f. 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-17032011-162129/pt-br.php>>. Acesso em: 30 dez. 2012.

SUZANO CELULOSE E PAPEL. **Visão geral do setor**. 2009. Disponível em:<<http://suzano.infoinvest.com.br/modulos/doc.asp?arquivo=00406030.wan&doc=ian370.doc&language=ptb>>. Acesso em: 10 out. 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 3.ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2002.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **Tappi test methods**: Atlanta, 1992.

TOMAZELLO Fo, M.; BRAZOLIN, S.; CHAGAS, M. P.; OLIVEIRA, J.T.S.; BALLARIN, A. W.; BENJAMIN, C. A. Application of x-ray technique in nondestructive evaluation of eucalypt wood. **Ciencia y tecnología**, n 10 (2), 2008, p. 139-149.