



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

ANA PAULA CÂMARA DA SILVA

**INFLUÊNCIA DE DISTÚRBIOS ABIÓTICOS NA QUALIDADE DA MADEIRA
DE EUCALIPTO PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE**

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2016

ANA PAULA CÂMARA DA SILVA

**INFLUÊNCIA DE DISTÚRBIOS ABIÓTICOS NA QUALIDADE DA MADEIRA
DE EUCALIPTO PARA 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. D.Sc. José Tarcísio da Silva Oliveira.
Coorientadora: Prof^a. D.Sc. Graziela Baptista Vidaurre.

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2016

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

Silva, Ana Paula Câmara da, 1991-

S586i Influência de distúrbios abióticos na qualidade da madeira de eucalipto
para produção de celulose / Ana Paula Câmara da Silva. – 2016.
45 f. : il.

Orientador: José Tarcísio da Silva Oliveira.

Coorientador: Graziela Baptista Vidaurre.

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

1. Eucalipto. 2. Estresse abiótico em plantas. 3. Interação genótipo-
ambiente. 4. Desordem de crescimento. 5. Dissimilaridade. I. Oliveira,
José Tarcísio da Silva. II. Vidaurre, Graziela Baptista. III. Universidade
Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. IV. Título.

CDU: 630

**INFLUÊNCIA DE DISTÚRBIOS ABIÓTICOS NA QUALIDADE DA MADEIRA DE
EUCALIPTO PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE**

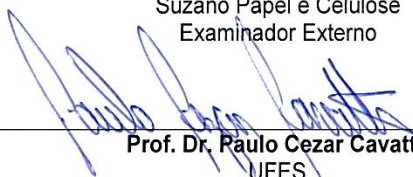
Ana Paula Câmara da Silva

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 26 de Fevereiro de 2016.



Dr. Everton Pires Soliman
Suzano Papel e Celulose
Examinador Externo



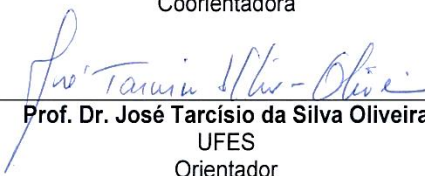
Prof. Dr. Paulo Cezar Cavatte
UFES
Examinador Externo



Prof. Dr. Humberto Fantuzzi Neto
UFES
Examinador Externo



Profª. Drª. Graziela Baptista Vidaurre
UFES
Coorientadora



Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira
UFES
Orientador

AGRADECIMENTOS

Primeiramente sou grata a Deus pela vida e por todas as bênçãos concedidas à mim. Ele que é meu Pai, Amigo e Mestre, toda honra e louvor por esta conquista.

Durante estes dois últimos anos, muitas pessoas participaram da minha vida. Algumas de longas datas, e muitas outras, mais recentemente. Dentre estas, algumas se tornaram muito especiais, cada uma ao seu modo, seja acadêmica ou pessoalmente e seria difícil não mencioná-las.

Aos meus pais, Moisés e Clarice, meus irmãos Fabiana e Valter e a toda minha família que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para a conclusão deste sonho. À meu noivo e amigo Jean Carlos, por toda atenção e companheirismo ofertados nos momentos de ausência, por seu precioso amor.

Agradeço a UFES, ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES por oferecerem recursos e ferramentas para que eu pudesse adquirir conhecimento e atingir os resultados dessa dissertação.

Ao meu orientador, José Tarcísio da Silva Oliveira, pela colaboração, paciência e conhecimentos repassados durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

À minha coorientadora, Graziela Baptista Vidaurre, pelo companheirismo, disposição e entusiasmo desprendidos para que esse trabalho se consolidasse. Agradeço por amplificar em mim, a prática de estar sempre consciente e outros vários exemplos, que talvez não tenha percebido, mas eu os aprendi.

Minha gratidão à Gabrielly dos Santos Bobadilha por ter sido meu “braço direito” no desenvolvimento desta pesquisa. Agradeço por seu companheirismo, prontidão e amizade, preciosos para nosso convívio em Jerônimo Monteiro. Meu muito obrigada amiga-irmã!

À Suzano Papel & Celulose pela concessão do material de estudo, informações concedidas e análises realizadas.

Ao professor Mario Tomazello Filho por abrir as portas do laboratório e juntamente com Matheus Chagas, auxiliarem na técnica de densitometria de Raios X.

Aos técnicos Elecy, José Geraldo e Gilson pelo auxílio no preparo das amostras. À Mayra e Isabela por colaborarem nas fotografias de anatomia. Ao professor Humberto por orientar na análise de pentosanas.

À banca examinadora, composta pelos professores Paulo Cezar Cavatte, Humberto Fantuzzi Neto e ao pesquisador Everton Pires Soliman, agradeço pelas valiosas contribuições.

Ao grupo da Tecnologia da Madeira que fizeram dos cafezinhos, momentos de terapia, descontração e aprendizado, seja no âmbito pessoal ou profissional.

A todos meus colegas e amigos do curso, especialmente ao Dercílio Verly pelas conversas questionadoras e pela grande amizade. À Brunela Rodrigues pelas primeiras informações sobre distúrbio abiótico. À Ana Carolina Boa pelas valiosas contribuições acerca da análise multivariada. Ao João Gabriel pela ajuda no Sigma, Willian Delarmelina e Denise Soranso pelas interpretações de alguns dados. Aos demais amigos Sandra, Sara, Tinti, Allan, Lairó, Elias, Edson, Nicacio, Anderson, Hector, Rosane, Eth e outras várias pessoas pela amizade estabelecida.

Às famílias Junger Delogo e Meneguelli e à Comunidade São Sebastião que tão bem me acolheram durante esse período de estadia em Jerônimo Monteiro, e a todos que fizeram destes dois anos um momento de muito amadurecimento.

Sou grata a todos!

Cada oportunidade que temos na vida realmente tem o potencial para ser uma "mina de ouro" ou uma "mina de terra". Nossas atitudes e como nos conduzimos, geralmente, determinarão se as nossas experiências foram positivas ou negativas.

Tony Cooke – Qualificados

Sumário

| | |
|---|-----------|
| RESUMO GERAL | 9 |
| GENERAL ABSTRACT | 10 |
| 1. INTRODUÇÃO GERAL | 11 |
| 1.1 OBJETIVOS | 12 |
| 1.1.1 Objetivo Geral | 12 |
| 1.1.2 Objetivos Específicos | 12 |
| | |
| CAPÍTULO I - INFLUÊNCIA DE DISTÚRBIOS ABIÓTICOS NAS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E QUALIDADE DA MADEIRA PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE DE <i>Eucalyptus grandis</i> X <i>Eucalyptus urophylla</i> | 13 |
| RESUMO | 13 |
| ABSTRACT | 14 |
| 1. Introdução | 15 |
| 2. Metodologia | 16 |
| 3. Resultados e Discussão | 19 |
| 4. Conclusões | 28 |
| 5. Referências Bibliográficas | 28 |
| | |
| CAPÍTULO II - AGRUPAMENTO DE NÍVEIS DE DISTÚRBO ABIÓTICO PELA SIMILARIDADE DAS CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA A PRODUÇÃO DE CELULOSE KRAFT | 32 |
| RESUMO | 32 |
| ABSTRACT | 33 |
| 1. Introdução | 34 |
| 2. Metodologia | 35 |
| 3. Resultados e Discussão | 37 |
| 4. Conclusões | 42 |
| 5. Referências Bibliográficas | 43 |
| | |
| 2. CONCLUSÕES GERAIS | 45 |

RESUMO GERAL

CÂMARA, Ana Paula. **Influência de distúrbios abióticos na qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro – ES. Orientador: Prof. D. Sc. José Tarcísio da Silva Oliveira, Coorientadora: Prof^a. D. Sc. Graziela Baptista Vidaurre.

A sustentabilidade produtiva da eucaliptocultura é ameaçada quando ocorrem doenças e desordens de crescimento, que podem ser de origem abiótica e, comprometer a qualidade da madeira, decorrentes das adversas condições ambientais. Com isso, teve-se por objetivo avaliar a influência de diferentes níveis de distúrbios abióticos na madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* para produção de polpa celulósica e, agrupá-los de acordo com as similaridades das variáveis. Foram coletadas árvores aos 7 anos de idade, nos municípios de Imperatriz e Vila Nova dos Martírios, Maranhão, Brasil e, classificadas conforme severidade dos sintomas visualmente observados. Os resultados das caracterizações dendrométrica, anatômica, química e densidade, bem como parâmetros de polpação Kraft da madeira foram comparados, e permitiram concluir que a intensidade dos sintomas de distúrbios alterou a qualidade da madeira para celulose. Destaca-se que, para o nível mais severo de distúrbio, foram obtidos os melhores resultados para variáveis dendrométricas, densidade básica, diâmetro vascular, fibras e consumo específico de madeira. Não foram observadas diferenças significativas nos teores de lignina e pentosanas em função da ocorrência do distúrbio abiótico. A utilização de técnicas de análise multivariada permitiu identificar a variabilidade das propriedades da madeira, tendo as características das fibras, o comprimento e espessura de parede, maior importância em pontuar as divergências dos níveis de distúrbio abiótico. Com o agrupamento, formaram-se dois grupos: um com junção dos níveis I e II de distúrbio abiótico e outro, com o nível III, sendo possível inferir que a homogeneização dos materiais, conforme o agrupamento, tende a melhorar o volume e a densidade de madeira produção de polpa celulósica.

Palavras-chave: Estresse, Interação genótipo-ambiente, Desordem de crescimento, Dissimilaridade, Eucalipto.

GENERAL ABSTRACT

CÂMARA, Ana Paula. **Influence of abiotic disorders in the wood quality of eucalyptus for pulp production.** 2016. Dissertation (Master's degree in Forest Sciences) – Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES, Advisor: Prof. D. Sc. José Tarcísio da Silva Oliveira. Co-advisor: Prof. D.Sc. Graziela Baptista Vidaurre.

The production sustainability of Eucalyptus is threatened when there are diseases and growth disorders that can be of abiotic origin and compromise the wood quality of the, resulting from the adverse environmental conditions of the plantations. Thus, it should be to evaluate the influence of different levels of abiotic disturbances in *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* for the production of pulp and group them according to the similarities of the variables. From age 7 trees were collected in the municipalities of Vila Nova DOS Martírios and Imperatriz, Maranhao, Brazil, and classified according to severity of symptoms observed visually. The results of characterization dendrometric, anatomical, chemical and density as well as Kraft pulping parameters of wood were compared and showed that the intensity of the symptoms of disorders changed the quality of pulpwood. It is noteworthy that, for the most severe disturbance level, the best results for dendrometric variables were obtained, basic density, vascular diameter, fiber and specific consumption of wood. No significant differences were observed in levels of lignin and pentosans due to the occurrence of the disorder abiotic. The use of multivariate analysis identified the variability of the properties of wood, having the characteristics of fibers, length and wall thickness of greater importance in scoring differences of abiotic disturbance levels. With the grouping, formed two groups: one with the junction of levels I and II of abiotic disorder and another, with the level III, it is possible to infer that the homogenization of materials as the group tends to improve the volume and density wood pulp production.

Keywords: Stress, Genotype-environment interaction, Growth disorder, Dissimilarity, Eucalyptus.

1. INTRODUÇÃO GERAL

O êxito da utilização de eucalipto por parte de empreendimentos industriais é resultado de um montante de condições, tais como: solo, topografia e clima que, aliados ao conhecimento tecnológico florestal, dão subsídios à grande produção de madeira com qualidade em tempo e área reduzidos.

Os progressos em pesquisa de desenvolvimento de materiais genéticos e de manejo florestal, não são suficientes para garantia de elevado desempenho das árvores em campo. Isto em virtude dos riscos relacionados aos fatores inerentes ao local de crescimento e alterações climáticas, que podem resultar em distúrbios abióticos e refletir nas propriedades da madeira de eucalipto em termos qualitativos e quantitativos.

Os distúrbios abióticos manifestam-se por meio de alterações na copa, caules, ramos e folhas, que são visualmente notadas e ocasionam anomalias de crescimento em diferentes graus. Essa situação, associado à imprevisibilidade dos acontecimentos ambientais, compromete o abastecimento de madeira na indústria, advindos da quantidade e qualidade da madeira produzida nas árvores afetadas, podendo resultar em perdas no processo produtivo.

Estudos voltados às alterações na produtividade de madeira, oriundas de plantios que passaram por mudanças fisiológicas e morfológicas são escassos, principalmente no que tange às propriedades tecnológicas da madeira para produção de polpa celulósica. Além disso, mesmo conhecendo a composição química e anatômica da madeira, a previsão de seu comportamento durante a polpação é dificultada, por ocorrer uma associação complexa dos constituintes.

Neste contexto, conhecer a qualidade da madeira afetada por diferentes intensidades de distúrbios abióticos, auxilia na definição de estratégias de planejamento florestal. Associado a isso, a utilização de técnicas estatísticas, que ajudam a preconizar a semelhança entre os indivíduos e minimizar efeitos da heterogeneidade da matéria-prima nas fábricas surge como uma ferramenta de interpretação de dados.

Assim, o estudo foi dividido em dois capítulos, cujos temas são:

Capítulo 1 – Influência de distúrbios abióticos nas variáveis dendrométricas e qualidade da madeira para produção de celulose de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*.

Capítulo 2 – Agrupamento de níveis de distúrbio abiótico pela similaridade das características da madeira de eucalipto para a produção de celulose Kraft.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a qualidade da madeira, para produção de polpa celulósica, do clone *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, proveniente de plantios florestais afetados por diferentes níveis de distúrbios abióticos.

1.1.2 Objetivos Específicos

- ✓ Analisar as variáveis dendrométricas de árvores de eucalipto em diferentes intensidades de distúrbios abióticos;
- ✓ Avaliar a qualidade da madeira nos três níveis de distúrbio abiótico, por meio da análise da densidade, características anatômicas e da composição química da madeira de eucalipto;
- ✓ Comparar o efeito dos níveis distúrbios abióticos no rendimento de polpa celulósica;
- ✓ Determinar a dissimilaridade e identificar as propriedades da madeira mais influentes na distinção dos níveis de distúrbio abiótico estudados;
- ✓ Agrupar os níveis de distúrbio quanto à similaridade das propriedades avaliadas da madeira.

CAPÍTULO I

INFLUÊNCIA DE DISTÚRBIOS ABIÓTICOS NAS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E QUALIDADE DA MADEIRA PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE DE *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla*

RESUMO

As interações entre plantas arbóreas e fatores ambientais são complexas e pouco conhecidas, podendo causar aos povoamentos florestais, os chamados distúrbios abióticos. Objetivou-se com este trabalho avaliar a influência de diferentes níveis de distúrbios abióticos nas variáveis dendrométricas e qualidade da madeira do clone *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 7 anos, destinada à produção de polpa celulósica. As árvores provenientes de plantios comerciais no estado do Maranhão, foram divididas em três níveis de distúrbios abiótico, mediante diferenciação das alterações morfológicas, e posteriormente analisadas quanto às variáveis dendrométricas, anatômicas, químicas, densidade da madeira e polpação Kraft. Constatou-se que os níveis de distúrbios abiótico influenciaram significativamente todas propriedades avaliadas e que a madeira proveniente de árvores com maior severidade dos sintomas em campo, proporcionou maiores valores médios para variáveis dendrométricas, densidade básica e fibras. Além disso, a densidade aparente, na região medular, apresentou comportamento diferenciado com elevação, em perfil radial da madeira. As árvores com sintomas de nível I tiveram alteradas as variáveis dendrométricas e anatômicas, principalmente no que se refere a volume de madeira e dimensões das fibras, respectivamente, exercendo portanto, influência nos índices de qualidade das fibras para a produção de polpa celulósica.

Palavras-Chave: Eucalipto, Efeitos ambientais, Estresse.

CHAPTER I

DISORDERS OF INFLUENCE IN VARIABLE ABIOTIC DENDROMETRIC AND WOOD QUALITY FOR PULP PRODUCTION *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla*

ABSTRACT

The interactions between woody plants and environmental factors are complex and poorly known, may cause the forest stands, the so-called abiotic disorders. The objective of this study was to evaluate the influence of different levels of abiotic disorders in dendrometric variables and quality of wood clone *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* to 7 years, for the production of pulp. Trees from commercial plantations in the state of Maranhão, were divided into three levels of abiotic disorders by differentiation of morphological changes, and subsequently analyzed for dendrometric, anatomical, chemical variables, wood density and Kraft pulping. It was found that levels of abiotic disorders influenced significantly all assessed properties and the wood from trees with greater severity of symptoms in the field, resulted in higher average values for dendrometric variables, basic density and fiber. Moreover the apparent density in the spinal region, behaved differently with elevation, radial profile of the wood. Trees with level I symptoms had committed to dendrometric and anatomical factors, especially with regard to timber volume and dimensions of the fiber, respectively, acting therefore influence the quality indices of the fibers to produce pulp.

Keywords: Eucalyptus, Environmental effects, Stres

1. Introdução

A intensa utilização do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em plantios florestais destinados a produção de celulose e papel deve-se, principalmente, ao rápido crescimento, reduzido ciclo de cortes, resistência ao déficit hídrico, maior densidade e rendimento de polpa celulósica entre 50 a 54%. Contudo, mesmo sob condições controladas de produção, as plantas tendem a interagir com os fatores ambientais de forma pouco conhecida, resultando em desordens, também relatados como distúrbios abióticos ou fisiológicos (SCHUTZKI; CREGG, 2007).

Segundo os autores supracitados, os distúrbios abióticos ocorrem em resposta a fatores climáticos, edáficos, nutricionais, práticas culturais e, em alguns casos, devido a uma predisposição genética dentro da própria planta. Por isso, a seleção de clones mais susceptíveis ou resistentes, é motivo de atenção nos programas de melhoramento.

As alterações causadas pela ocorrência de distúrbios podem ser expressas por lesões e crescimento lento, como efeito cumulativo dos fatores causais do processo abiótico na planta (MINISTRY OF AGRICULTURE, FOOD AND FISHERIES OF BRITISH COLUMBIA, 2003). Além disso, podem ocasionar perda de produtividade, aumento da quantidade de resíduo no campo e danos à árvore no momento da colheita mecanizada, sobretudo, poderá antecipar a idade de corte do material e exigir intervenções silviculturais além das previstas.

O primeiro registro de ocorrência de distúrbios abiótico, em plantios de empresas brasileiras produtoras de celulose, foi observado em 2007 ao norte do estado do Espírito Santo e no Sul da Bahia. Os sintomas foram descritos como anomalias no crescimento do eucalipto associados a interações de fatores climáticos, nutricionais, edáficos e genéticos, tais como: alta radiação, alternância de extremos de umidade relativa do ar e solo, e deficiência nutricional. Entretanto, os parâmetros de qualidade da madeira não foram analisados (SILVA et al., 2010).

Outras informações acerca de distúrbios, são quanto o ciclo de ocorrência, tendo a alternância da intensidade de precipitação papel importante no aparecimento e latência dos sintomas.

Apesar de alguns relatos na literatura a respeito de distúrbios abióticos em eucalipto, são escassos os estudos que ampliam o conhecimento sobre esse tema de maneira a minimizar os impactos causados sobre a produção florestal, a qualidade da madeira e conseqüentemente na produção de celulose. Com isso, o objetivo deste

capítulo foi avaliar a influência de diferentes níveis de distúrbios abióticos nas variáveis dendrométricas e qualidade da madeira do clone *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* visando utilização na produção de polpa celulósica.

2. Metodologia

A madeira utilizada foi obtida de árvores do clone *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com sete anos de idade, desenvolvido pela Ferro Gusa Carajás, proveniente de plantio comercial com espaçamento 3,00 x 3,00m nos municípios de Vila Nova dos Martírios e Imperatriz, estado do Maranhão, Brasil. O clima da região é classificado segundo Köppen como Aw, sendo tropical sub-úmido e mesotérmico, com inverno seco e chuvas concentradas no verão, com precipitação média anual de 1.227mm e temperatura média de 25,4°C. São apresentados na Figura 1, os valores médios de precipitação e temperatura, com base nos dados de Imperatriz.

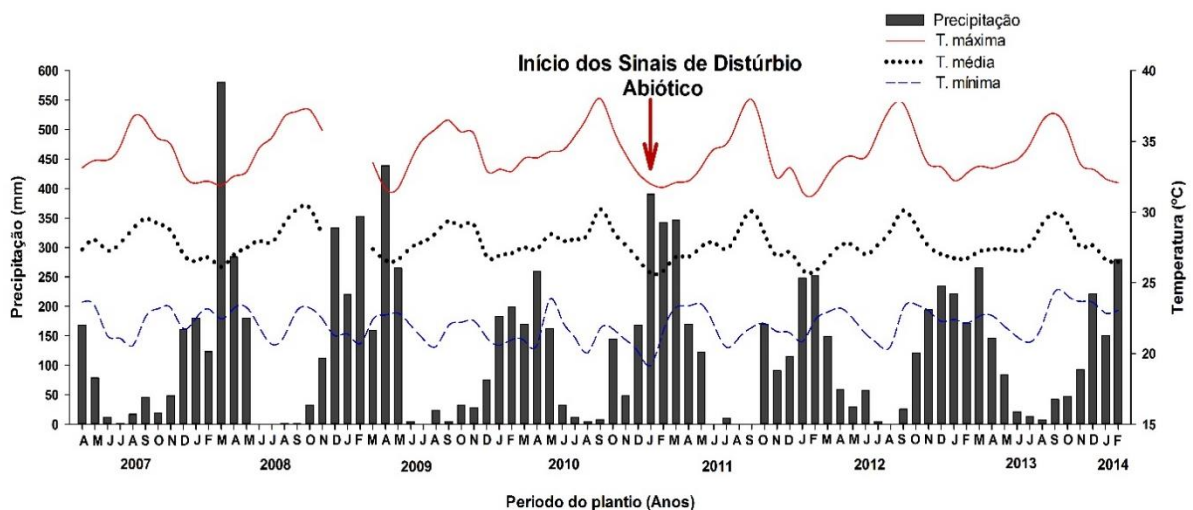


Figura 1 – Valores médios mensais de precipitação (mm) e temperatura máxima, média e mínima (°C) no período de abril de 2007 a fevereiro de 2014, referente a região do povoamento florestal, no estado do Maranhão, Brasil (Fonte: INMET).

As árvores demonstraram aos 4 anos (a partir de 2011), sintomas de distúrbios abióticos com distintas intensidades para o mesmo clone. A distinção dos sintomas foi embasada em critérios visuais estabelecidos pela Suzano Papel & Celulose (Figura 2), ordenados numa escala de I a III, conforme a severidade dos sintomas, sendo:

Distúrbio Abiótico Nível I: caracterizado por sintomas brandos de distúrbio, no qual as árvores demonstraram lesão superficial deprimida, trincamento e ligeiro descolamento da casca no tronco e nos galhos, distribuídas em área do município de Vila Nova dos Martírios, com precipitação de 1400 à 1650 mm e altitude de 240 m.

Distúrbio Abiótico Nível II: as árvores possuíam sintomas intermediários do distúrbio, como queima do terço basal da copa, trincamento da casca e intumescimento em pontos específicos do caule ou ramos, localizadas em Imperatriz, com precipitação de 1500 à 1700 mm e altitude de 190 m.

Distúrbio Abiótico Nível III: caracterizado por sintomas mais severos, com ocorrência de seca de ponteiros, perda de dominância apical, superbrotção, formação de casca e edemas foliares em árvores localizadas em Vila Nova dos Martírios, com precipitação de 1600 à 1800 mm e altitude de 155 m.

A amostragem de árvores não afetadas pelo distúrbio abiótico não foi possível, em virtude das anomalias de crescimento atingirem por completo e de forma progressiva os plantios do clone na região, totalizando uma área de 62,6 ha.



Para nível I, as duas imagens, a e b, correspondem, ao plantio experimental e ligeiro descolamento da casca, respectivamente. No nível II, a: plantio experimental, b: trincamento da casca, c: intumescimento da casca, d: queima em pontos específicos do caule. Nível III, a: plantio experimental, b: seca de ponteiros, c: superbrotção, d: perda de dominância apical, e: edemas caulinares e foliares.

Figura 2 – Sintomas de distúrbios abióticos para os níveis I, II e III em árvores de *E. grandis* x *E. urophylla*, aos sete anos de idade, localizadas no estado do Maranhão, Brasil (Fonte: Suzano Papel e Celulose).

Na seleção dos indivíduos, o parâmetro adotado foi o diâmetro à altura do peito (DAP), obtido por meio do inventário de 300 indivíduos de cada nível de distúrbio abiótico. Foram selecionadas 10 árvores, das quais retirou-se discos ao longo do tronco nas posições da base, 25, DAP, 50, 75 e 100% da altura comercial da árvore.

A coleta das árvores ocorreu em fevereiro de 2014, quando também foi realizada a amostragem edáfica para caracterização física e química dos solos. Foram coletadas amostras deformadas nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm para cada um dos três locais de coleta. Determinou-se a textura (EMBRAPA, 1997), por meio de triângulo textural e a classificação dos solos (SiBCS, 2006).

Os solos que ocorrem nas áreas de distúrbios níveis I e II foram classificados como Argissolo Amarelo Tb Distrófico com textura arenosa média, com relevo suave ondulado; o de nível III, como Latossolo Amarelo Distrófico, textura média e relevo plano. A caracterização química desses solos está descrita na Tabela 1.

Tabela 1 – Análise química dos solos nos diferentes níveis de distúrbio abiótico plantados com *E. grandis* X *E. urophylla* aos sete anos de idade, no estado do Maranhão, Brasil.

| Nível de Distúrbio | Profundidade (cm) | pH (H ₂ O)* | P resina (mg dm ⁻³) | SB | CTC | V | m | MO |
|--------------------|-------------------|------------------------|---------------------------------|------------------------------------|-------|-------|-------|--------------------|
| | | | | mmol _c dm ⁻³ | | % | | g.Kg ⁻¹ |
| I | 0-20 | 4,70 | 2,00 | 9,30 | 47,60 | 19,50 | 30,10 | 12,00 |
| | 20-40 | 4,60 | 1,60 | 7,20 | 50,70 | 14,20 | 41,00 | 9,00 |
| | 40-60 | 4,30 | 1,20 | 6,20 | 53,50 | 11,60 | 53,10 | 8,00 |
| II | 0-20 | 5,60 | 3,20 | 30,40 | 51,90 | 58,60 | 3,20 | 15,00 |
| | 20-40 | 5,50 | 2,80 | 18,40 | 43,10 | 42,60 | 9,80 | 10,00 |
| | 40-60 | 5,40 | 2,10 | 14,30 | 42,30 | 33,80 | 17,30 | 8,00 |
| III | 0-20 | 4,50 | 1,80 | 11,20 | 62,10 | 18,10 | 26,30 | 12,00 |
| | 20-40 | 4,30 | 1,40 | 8,20 | 61,30 | 13,40 | 37,90 | 9,00 |
| | 40-60 | 4,20 | 1,10 | 4,20 | 59,00 | 7,10 | 62,60 | 8,00 |

*Métodos de Extração: pH em água (1: 2,5); P, K: Mechlich

** P = fósforo; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca de cátions; V = índice de saturação de bases; m = índice de saturação por alumínio; MO = matéria orgânica.

O volume da madeira foi estimado a partir das medições de DAP, altura comercial nas dez árvores selecionadas para cada nível de distúrbio abiótico. Para altura comercial foi considerado todo o tronco até a altura correspondente ao diâmetro de 6 cm. Com base nestes dados, foi estimado o volume individual das árvores (com e sem casca) adotando-se o método de Smalian.

A densidade básica média ponderada, foi obtida segundo procedimento de Nogueira et al. (2005), considerando a densidade básica entre as posições e o volume das seções. Já para densidade aparente adotou-se a técnica de densitometria de Raios X em intervalos de 40 µm, cuja metodologia foi descrita por Amaral e Tomazello Filho (1998). Foram gerados cinco gráficos para cada nível de distúrbio abiótico, sendo a seleção realizada mediante representatividade visível do perfil radial.

Para avaliação dos vasos e fibras da madeira foram obtidos corpos de prova na posição do cerne periférico nos discos correspondentes ao DAP, seguindo os procedimentos metodológicos da Comissão Panamericana de Normas Técnicas (COPANT, 1974). Foram obtidos cortes histológicos, nos quais mensurou-se 25 elementos por lâmina, para a obtenção dos parâmetros de vasos e fibras da madeira.

De posse das variáveis referentes as fibras, foram calculados índices de qualidade da madeira para produção de polpa celulósica, como enfiamento (razão entre comprimento e diâmetro de fibra), coeficiente de flexibilidade (razão de diâmetro do lume e largura da fibra, em porcentagem), fração parede (razão entre o dobro da

espessura pela largura da fibra, em porcentagem) e índice de Runkel (razão entre o dobro da espessura e pelo diâmetro do lume).

Amostras na forma de cavacos, correspondente a madeira remanescente de cada árvore, foram obtidas para realização da análise química e cozimento Kraft. As metodologias empregadas para caracterização química da madeira seguiram os procedimentos da Tappi (1998), com a preparação da madeira para a análise química (T264); determinação do teor de extrativos em acetona (T204); teor de lignina (T222); teor pentosanas (T223) e determinação do teor de inorgânicos (cinzas), segundo a Norma Brasileira Regulamentadora 8112/83 (ABNT, 1983).

Os cozimentos foram realizados com 6kg de cavacos, previamente classificados por espessura, com umidade de 20%, em digestor de circulação forçada de licor e capacidade de 10L, onde ocorreu a deslignificação, seguindo o processo Kraft, com relação licor/madeira de 4:1. Estabeleceram-se curvas de cozimento e equações de correlações, estimando os rendimentos e rejeito necessários para este grau de deslignificação. Para cada nível de distúrbio abiótico foi determinado o consumo específico de madeira utilizando a densidade básica e rendimento depurado do cozimento Kraft.

Foram realizadas análises de variância univariadas utilizando-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC) para todas as variáveis quantificadas na madeira e quando significativas as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$), com exceção da polpação Kraft, a qual foi analisada de forma descritiva.

3. Resultados e Discussão

As árvores correspondentes ao nível I de distúrbio abiótico obtiveram os menores valores médios para todas as variáveis dendrométricas, diferindo estatisticamente dos demais níveis (Tabela 2). Destaca-se a redução de 55% de volume de madeira produzido pelas árvores do nível I em comparação as árvores do nível III.

A maior produção de madeira proporcionada pelas árvores com níveis II e III de distúrbio pode estar atrelada a maior precipitação nos locais de ocorrência, que mantém os estômatos abertos, favorece a transpiração e assimilação de carbono, e resulta em crescimento e acúmulo de biomassa, conforme relatado por Vellini et al (2008).

O local de ocorrência de distúrbio nível II nas árvores também pode ter contribuído para esse incremento, isso porque demonstrou concentrações de cátions

trocáveis (K, Ca⁺², Mg⁺²) superiores aos demais níveis, como também acidez média, o que favoreceu os elevados valores de saturação por bases, indicando maior fertilidade quando comparado aos demais. Essa diferença na fertilidade do solo, teve efeito positivo no crescimento das árvores desta área, tais como altura total e diâmetro a altura do peito, uma vez que solos mais férteis favorecem o desenvolvimento vegetal (ANDRADE et al., 2013).

Tabela 2 – Valores médios das variáveis dendrométricas das árvores do clone de *E. grandis* x *E. urophylla* aos sete anos de idade em função dos três níveis de distúrbio abiótico no estado do Maranhão, Brasil.

| Níveis de Distúrbio Abiótico | Altura Total (m) | Altura Comercial (m) | DAP (cm) | Volume de casca (m ³) | Volume de madeira (m ³) |
|------------------------------|------------------|----------------------|----------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| I | 17,56 b* | 12,41 b | 9,44 b | 0,00592b | 0,0676 b |
| II | 21,40 a | 16,78 a | 13,34 a | 0,0086 a | 0,1466 a |
| III | 21,28 a | 16,43 a | 14,08 a | 0,0104 a | 0,1530 a |
| F calculado | 5,67** | 4,49 | 13,97 | 5,38 | 7,68 |
| CV (%) | 16,59*** | 26,52 | 23,65 | 42,09 | 53,56 |

DAP: diâmetro a altura do peito.

*Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si, a 5% de significância no teste Tukey (P>0,05) **Valores de F calculado, significativo e ns: não significativo, ***Valores referentes ao coeficiente de variação.

Os sintomas de distúrbio ocorrentes no nível III, como perda de dominância apical e seca dos ponteiros não comprometeram o crescimento em altura, provavelmente, as plantas tenham revigorado após o diagnóstico dos sintomas, ou ainda, tenha ocorrido um efeito progressivo de distúrbio, sendo esses sintomas, observados próximo a colheita e utilizados como forma de distinção dos níveis, sem de fato, interferirem no desenvolvimento vertical das plantas.

Ademais, o maior volume precipitado no local deste nível pode amenizar o efeito do distúrbio, mesmo em elevada severidade, por haver água disponível para crescimento.

As árvores com ocorrência de sintomas de nível I obtiveram redução do diâmetro na ordem de 29% e 33%, frente ao nível II e III, respectivamente. A diferença produtiva deve-se as condições de cada localidade, principalmente ao volume precipitado. Chagas et al. (2004) avaliando o DAP de sete espécies em Floresta Estacional Semidecidual ao longo de seis anos, perceberam redução do diâmetro em função da sazonalidade, uma vez que em estação chuvosa, o intumescimento da casca favorece o aparecimento de lesões e perda de água e em estação seca, há a contração dos troncos.

Esse comportamento também pode ser atribuído às árvores com nível I de distúrbio abiótico, visto que em seu povoamento, os índices pluviométricos são menores, acentuando ainda mais os efeitos da sazonalidade.

Os níveis de distúrbio abiótico influenciaram significativamente a densidade básica ponderada, teores de extrativos, cinzas da madeira, sendo as madeiras dos níveis I e III, distintas estatisticamente, exceto para os teores de cinzas (Tabela 3). O nível III demonstrou superioridade para características das fibras, bem como o diâmetro vascular e, o nível I superior apenas, para frequência vascular.

Tabela 3 – Valores médios para densidade, composição química e anatômica da madeira do clone *E. grandis* x *E. urophylla* com sete anos em função dos três níveis de distúrbio abiótico no estado do Maranhão, Brasil.

| Parâmetros | CV (%) | F | Níveis de Distúrbio Abiótico | | |
|--|----------|--------------------|------------------------------|----------|-----------|
| | | | I | II | III |
| Densidade básica ponderada (g.cm ⁻³) | 11,29*** | 7,24 | 0,437 b* | 0,422 b | 0,491 a |
| Extrativos em acetona (%) | 22,11 | 6,81 | 2,45 a | 2,26 a | 1,80 b |
| Lignina Insolúvel (%) | 2,58 | 0,20 ^{ns} | 24,55 a | 24,60 a | 24,19 a |
| Lignina Solúvel (%) | 6,73 | 4,46 ^{ns} | 3,82 a | 3,76 a | 3,42 a |
| Lignina Total (%) | 2,52 | 3,91 ^{ns} | 28,37 a | 28,36 a | 27,61 a |
| Teor de Pentosanas (%) | 2,57 | 1,56 ^{ns} | 15,05 a | 14,65 a | 15,05 a |
| Teor de Cinzas (%) | 29,78 | 4,67 | 0,3031 a | 0,1999 b | 0,2273 ab |
| Espessura de parede da fibra (µm) | 44,72 | 52,68 | 3,64 c | 4,93 b | 5,35 a |
| Comprimento de fibra (µm) | 38,14 | 50,53 | 976,36 c | 1203,1 b | 1353,3 a |
| Diâmetro vascular (µm) | 23,06 | 44,18 | 97,49 c | 104,33 b | 116,71 a |
| Frequência vascular (nº.mm ⁻²) | 34,64 | 50,96 | 14 a | 11 c | 13 b |

* Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula na linha, não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey (P > 0,05). **Valores de F calculado, significativo e ns: não significativo, ***Valores referentes ao coeficiente de variação.

Considerando um clone referência fornecido pela empresa, com mesma idade, a densidade básica encontrada para o maior nível de distúrbio abiótico obteve redução apenas de 1%.

A densidade básica pode variar para o mesmo clone mediante condições edafoclimáticas e embora o desenvolvimento da cultura tenha sido sob condições de estresse, a densidade básica do nível mais severo (III) foi semelhante a observada por Gonzalez et al. (2014) e Meneses et al. (2015) em árvores do mesmo híbrido com idades de 8 e 7 anos, respectivamente, em condições normais de crescimento.

Os autores supracitados relatam ainda, que a densidade básica de madeiras de eucalipto correlaciona-se mais fortemente com as características morfológicas das fibras e qualidade da polpa, tendo pouca relação com a composição química.

A quantidade de extrativos foi superior para madeiras com sintomas de níveis I e II, com redução de 26,5% do nível III comparado ao maior teor. Esse decréscimo nos percentuais de extrativos é relevante, uma vez que se trata de material genético e idades iguais.

Rodrigues (2013) também observou alteração na quantidade de extrativos em árvores com maior grau de estresse abiótico, com teor de 1,31%, ao passo que em árvores menos estressadas foi de 1,92%, o que corresponde a um decréscimo de 31,8% em função do grau de severidade.

Moura et al. (2010) relataram que o teor de lignina em plantas submetidas a estresse foi menor que em plantas bem hidratadas. Isso sugere uma adaptação do vegetal às condições de estresse, deste modo a manutenção de níveis elevados de lignina nas regiões de alongamento celular pode afetar negativamente o crescimento após reidratação. Outra hipótese observada por Le Gall et al. (2015), é que a planta submetida a algum estresse, tende a espessar a parede celular com depósito de lignina e hemicelulose na parede secundária para evitar danos a essas estruturas.

Contudo, o menor teor de lignina encontrado para a madeira de árvores de nível III, demonstra que não houve gasto de energia em componentes estruturas, em virtude da superbrotação resultar em pequenos galhos, com menor peso para a copa.

No teor de pentosanas não houve variação em função dos níveis de distúrbio abiótico, resultado convergente aos valores encontrados por Mokfienski et al. (2008) e Longue Júnior e Colodette (2011) analisando eucalipto sob condições normais de crescimento. Estudos mostram que o estresse hídrico ocorrido em *Fagus sylvatica* em 2003 reduziu radialmente o teor de carboidratos em anéis da madeira adulta, porém, em anéis periféricos, as reservas foram mantidas (GÉRARD; BREDA, 2014). Já Chantuma et al. (2009) relatam que em condições de estresse, há realocação de carboidratos das folhas para o tronco, como passiva forma de acumulação e redução energética.

Os maiores teores de cinzas encontrados nas madeiras de níveis I e III de severidade, possivelmente, são respostas das árvores em armazenar minerais, que corrobora com a análise química do solo. Andrade et al. (2013) relatam que os macronutrientes possuem maior disponibilidade para o desenvolvimento da parte aérea, podendo estes ser acumulados nestas porções.

Os parâmetros de fibras (comprimento e espessura) e diâmetro de vasos apresentaram maiores valores médios para a madeira de árvores com nível III de severidade (Tabela 4). Em casos de ocorrência de distúrbios abióticos, Shmulsky e

Jones (2011) relatam que ocorre uma desaceleração de crescimentos terminais, redução de produção de auxina e incremento de células de lenho, o que possivelmente justifica o maior espessamento das fibras, nos anos após a ocorrência do distúrbio.

O sinal de superbrotção ocorrido em árvores do nível III tende a intensificar o processo fotossintético, e conseqüentemente, o espessamento da parede celular. Isso porque os compostos oriundos da fotossíntese, são utilizados para a formação de novos brotos. Sucessivamente, sintetizados pelas novas folhas e disponibilizados para a formação de madeira, de modo a formar células de lenho, que apresentam paredes mais espessas (LARSON et al., 2001).

Entretanto, uma vez retomados os padrões de crescimento normais, em épocas de menores ocorrências pluviométricas, como parte do ciclo de distúrbio abiótico, as novas células formadas novamente crescem em comprimento, como observado para o nível III de severidade. Neste processo, a sazonalidade e as condições ambientais exercem papel importante no controle de taxas hormonais, uma vez que as divisões das células cambiais influenciam no crescimento em comprimento das fibras.

A madeira proveniente de árvores com nível III de sintomas demonstrou acréscimo de 8,5 e 12,5%, para espessura de parede e comprimento de fibra, respectivamente, frente ao nível II. Resultado divergente foi encontrado por Rodrigues (2013), em que os maiores valores de fibras foram para árvores com menor grau de estresse abiótico, com acréscimos na ordem de 6,1% para espessura de parede e 11,9% de comprimento de fibra.

No que se refere à densidade aparente, houve variação de valores ao longo do perfil radial, sendo os tons mais escuros e mais claros relacionados respectivamente, a menores e maiores valores de densidade (Figura 3). Percebe-se variabilidade da madeira na porção medula-casca para os três níveis de distúrbio abiótico, embora apresentem comportamento semelhante na região de 4,0 cm do raio, com acréscimo da densidade aparente.

A variação radial resultou em elevados valores para as madeiras dos níveis II ($0,61 \text{ g.cm}^{-3}$) e III ($0,52 \text{ g.cm}^{-3}$), principalmente no que tange a região da medula. Entretanto, a madeira de nível I também demonstrou elevados valores ($0,53 \text{ g.cm}^{-3}$), que são distribuídos repetidamente no perfil e não concentram-se na medula.

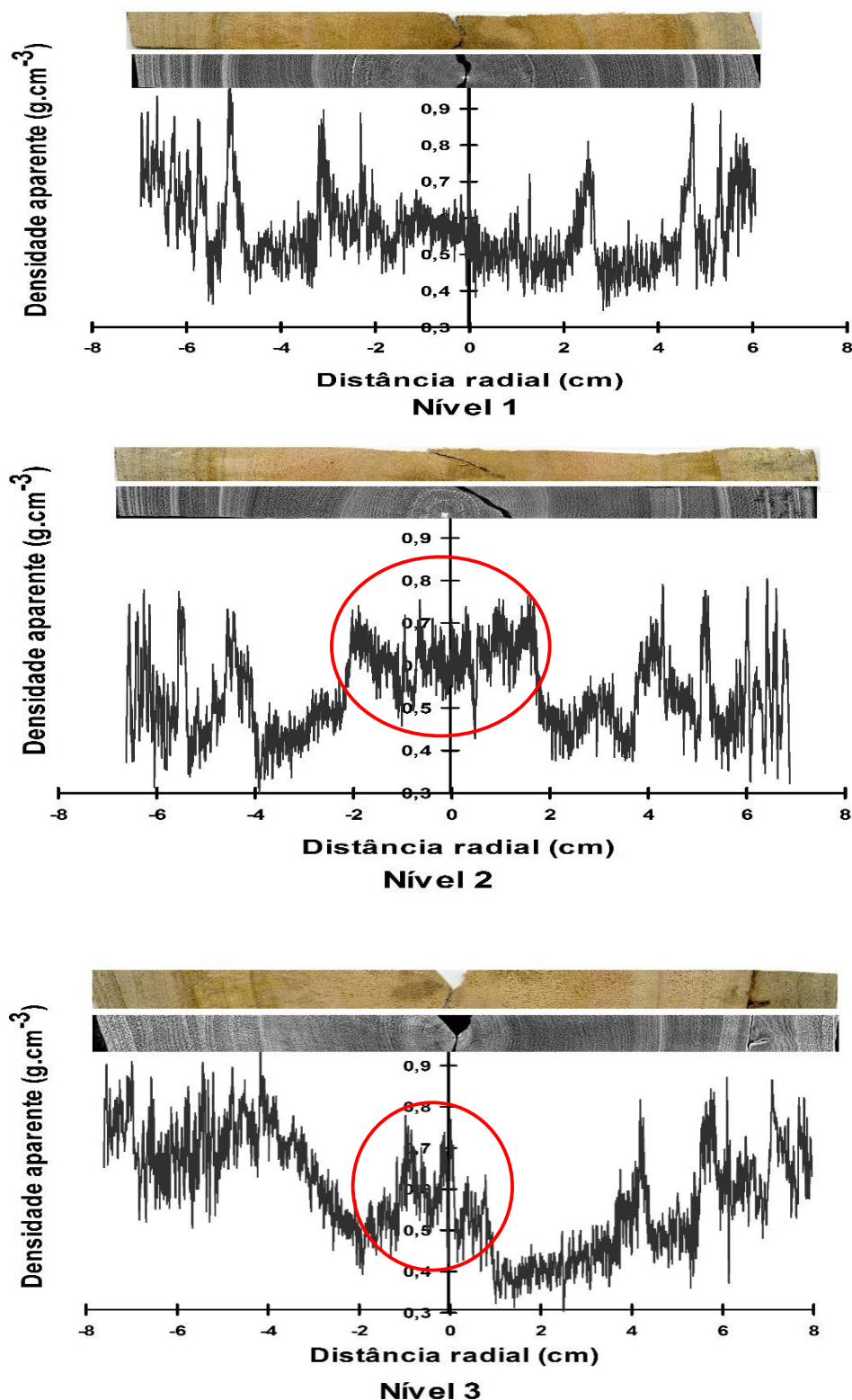


Figura 3 – Perfis de densidade aparente e imagens do raio X digital para o lenho de *E. grandis* x *E. urophylla* aos sete anos à altura do peito (DAP) com sintomas de distúrbio abiótico.

Uma provável explicação para os valores mais elevados de densidade na região da medula se deve a presença de substâncias de reserva (carboidratos)

nas células do parênquima. Houve uma tendência a redução e estabilização dos valores de densidade até atingir a casca, conforme encontrado também por Sette Júnior et al. (2009).

A madeira proveniente de árvores com menor grau de severidade dos sintomas de distúrbio abiótico (Nível I), demonstrou acréscimo de aproximadamente 8% no consumo de reagentes no cozimento Kraft em relação aos outros níveis, com influência direta no rendimento e consumo específico da madeira. Isso pode ser confirmado analisando a quantidade de álcali ativo, rendimento depurado e m³ de madeira utilizada para a produção de uma tonelada de celulose (Tabela 4).

Tabela 4 – Valores médios para os parâmetros de polpação Kraft das árvores nos níveis de distúrbio abiótico do clone *E. grandis* x *E. urophylla* aos sete anos de idade, no estado do Maranhão, Brasil.

| Parâmetros | Níveis de Distúrbio Abiótico | | | Clone Referência |
|---|------------------------------|------|-------|------------------|
| | I | II | III | |
| Álcali ativo (%) | 27,6 | 25,5 | 25,4 | - |
| Rendimento Bruto | 46,6 | 48,6 | 47,63 | - |
| Rendimento Depurado (%) | 46,4 | 48,5 | 47,6 | 51,8 |
| Rejeito (%) | 0,20 | 0,13 | 0,02 | - |
| Consumo específico da madeira (m ³ .ton de cel ⁻¹) | 4,93 | 4,88 | 4,28 | 3,59 |

Houve variação dos parâmetros de polpação dos três níveis analisados, com evidência, por exemplo, o consumo específico, que variou de 4,28 a 4,93, cujo acréscimo foi de 15,2% da madeira com nível I para o nível III, demonstrando a interferência de distúrbio no material geneticamente melhorado.

O clone referência, de mesma idade, apresentou diminuição de 27% para o consumo específico de madeira e acréscimo de 10% em rendimento depurado quando analisado em condições de distúrbio abiótico, independente da intensidade.

A elevação de consumo específico da madeira pontualmente é resultado da baixa densidade encontrada para o nível I de severidade, que segundo relatado por Gomide, Fantuzzi Neto e Regazzi (2010), estabelece correlação forte e negativa entre estas duas variáveis. Em linhas gerais, as empresas de celulose buscam redução constante do consumo específico, mesmo que a nível

decimal, de modo a não prejudicar a produção de celulose e a manutenção de volume da pilha de cavacos nas fábricas.

Resultados contrastantes e inferiores relativos ao consumo específico da madeira foram encontrados por Rodrigues (2013) em avaliação às árvores estressadas abioticamente. Os valores foram de 3,67 e 3,89 respectivamente para menor e maior grau de estresse e, provavelmente, essa diferença decorre do nível de severidade do distúrbio, densidade, teores de extrativos, lignina e diferença de idade dos materiais avaliados em ambos os trabalhos.

O maior teor de extrativos das árvores com nível I, teve efeito no cozimento, com maior exigência de carga de reagentes e redução de 5% em seu rendimento depurado da polpa. Infere-se que o percentual de extrativos tenha sido o motivo de diferença entre os rendimentos de cada nível, visto que o teor de lignina das madeiras não diferiu estatisticamente. Contudo, o tipo de lignina presente nas amostras e suas características estruturais também podem ser fator contribuinte para o rendimento, dado que maior relação siringila/guaiacila facilita o processo de deslignificação.

A madeira do nível I exigiu maior carga alcalina em comparação ao nível III, mesmo que sua densidade tenha sido a menor ($0,412 \text{ g.cm}^{-3}$). Esse resultado diverge ao encontrado na literatura (SANTOS, SANSÍGOLO, 2007; GOMIDE, FANTUZZI NETO, REGAZZI, 2010; MORAES, PIRATELLI, ACHCAR, 2014), isso porque os relatos sugerem que madeiras com menores densidades requerem reduzida carga alcalina para cozimento, podendo apresentar melhores valores para rendimento depurado, uma vez que a solubilização dos carboidratos da madeira é menor.

Os valores médios dos índices de qualidade da madeira foram estatisticamente diferentes, destacando as madeiras de nível III de severidade do distúrbio, inferior apenas para o coeficiente de flexibilidade (Figura 4). Para todos os índices os valores permaneceram no intervalo considerado satisfatório para a formação do papel.

O resultado para o IE mostra que as fibras mais compridas, encontradas para o nível III, em razão da largura das mesmas pode favorecer a rede fibrosa. Salienta-se que as árvores de nível I de severidade também obtiveram maiores valores para esse índice, apesar de desenvolverem fibras mais curtas.

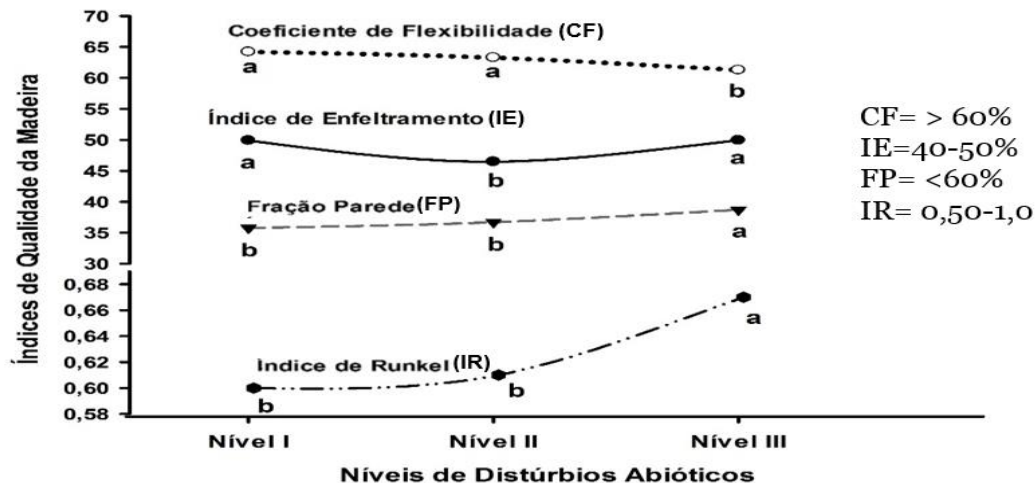


Figura 4 –Índices de qualidade das fibras da madeira nos três níveis de distúrbio abiótico em árvores de *E. grandis* x *E. urophylla* aos sete anos de idade, no estado do Maranhão, Brasil.

Fibras com paredes finas favorecem o colapso e achatamento, características que refletem no coeficiente de flexibilidade. Esse parâmetro indica que o papel formado possuirá resistências ao estouro e tração, características possivelmente encontradas para as madeiras dos níveis I e II, já que para o nível III foram encontradas fibras mais espessas. Resultados encontrados para árvores estressadas por fatores abióticos, mostraram-se inferiores aos observados para os três níveis (BOSCHETTI et al., 2015; RODRIGUES, 2013).

Com relação a fração parede, o maior percentual foi encontrado para as árvores que apresentaram severos sintomas de distúrbio abiótico (38,72). Os valores encontrados são indicativos de fibras adequadas para a produção de papéis de imprimir e escrever, pois favorecem as ligações fibra-fibra, uma vez que papéis absorventes requerem valores maiores em virtude do afrouxamento da rede fibrosa.

De maneira geral, foram verificados menores valores de índice de Runkel para as madeiras com sintomas de níveis I e II de distúrbio, porém para todos inferiores a um. Esse intervalo propicia a eficiência das fibras com maior flexibilidade e ligações entre si no momento de formação do papel.

4. Conclusões

O aumento da severidade dos sintomas do distúrbio abiótico presente nas árvores não impactou as variáveis dendrométricas e propriedades da madeira destinada à produção de polpa celulósica.

A menor severidade (nível I) influenciou as variáveis dendrométricas e proporcionou alterações nas dimensões das fibras da madeira das árvores.

O aumento dos sintomas nas árvores proporcionou comportamento anormal da densidade aparente da madeira na região medular.

A ocorrência de sintomas severos de distúrbio abiótico (Nível III) em árvores de *E. grandis* x *E. urophylla* teve efeito positivo, em comparação aos outros níveis para a densidade básica e rendimento de polpa celulósica.

A severidade do distúrbio não é controlada por atributos químicos e físicos do solo, contudo a altitude e precipitação podem contribuir para o aparecimento dos sintomas.

Uma análise global dos resultados demonstra que, propriedades foram severamente comprometidas pelo distúrbio, contudo, é possível minimizar os impactos homogeneizando o material com matéria prima de melhores características.

5. Referências Bibliográficas

AMARAL, A. C. B.; TOMAZELLO FILHO, M. Avaliação das características dos anéis de crescimento de *Pinus taeda* l. segundo micro densitometria de Raios X. **Revista de Ciência e Tecnologia**, Piracicaba, v. 11, p. 17-23, 1998.

ANDRADE, A. P.; BRITO, C. C.; SILVA JÚNIOR, J.; COCOZZA, F. D. M.; SILVA, M. A. V. Estabelecimento inicial de plântulas de *Myracrodruon urundeuva* Allemão em diferentes substratos. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 4, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8112**: [Carvão vegetal – análise imediata] Rio de Janeiro, 1983.

BOSCHETTI, W. T. N.; PAES, J. B.; OLIVEIRA, J. T. S.; DUDECKI, L. Características anatômicas para produção de celulose do lenho de reação de árvores inclinadas de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.50, n.6, p.459-467, 2015.

CHAGAS, R.K.; DURIGAN, G.; CONTIERI, W. A.; SAITO, M. **Crescimento diametral de espécies arbóreas em Floresta Estacional Semidecidual ao longo de seis anos**. Pesquisas em conservação e recuperação ambiental no Oeste Paulista, 2004. Disponível em:

<<http://www.ambiente.sp.gov.br/institutoflorestal/files/2004/01/IF-c15.pdf>>.
Acesso em: 08 nov. 2015.

CHANTUMA P.; LACOINTE A.; KASEMSAP P.; THANISAWANYANGKURA S.; GOHET E.; CLEMENT A.; GUILLIOT A.; AMEGLIO T.; THALER P.; Carbohydrate storage in wood and bark of rubber trees submitted to different level of C demand induced by latex tapping. **Tree Physiology**, v. 29, p. 1021–1031, 2009.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA -EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

GÉRARD, B.; BREDA, N. Radial distribution of carbohydrate reserves in the trunk of declining European beech trees (*Fagus sylvatica* L.). **Annals of Forest Science**, Springer Verlag, v.71, n.6, p. 675-682, 2014.

GOMIDE, J. L.; FANTUZZI NETO, H.; REGAZZI, A. J. Análise de critérios de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose kraft. **Revista Arvore**, Viçosa, v.34, n.2, p.339-344, 2010.

GONÇALEZ, J. C.; SANTOS, G. L.; SILVA JUNIOR, F. G.; MARTINS, I. S.; COSTA, J. A. Relações entre dimensões de fibras e de densidade da madeira ao longo do tronco de *Eucalyptus urograndis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 101, p. 81-89, 2014.

IBRAHIM, M. F. E.; ABDELGADIR, A. Y. Effect of growth rate on fiber characteristics of *Eucalyptus camaldulensis* wood of coppice origin grown in white Nile State, Sudan. **Journal of Natural Resources & Environment**, v. 3, n. 1, p.14-23, 2015.

LARSON, P. R.; KRETSCHMANN, D. E.; CLARK, A.; ISEBRANDS, J.G. **Formation and properties of juvenile wood in southern pines: a synopsis**. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 2001. 42 p.

LE GALL, H.; PHILLIPE, F.; DOMON, J. M.; GILLET, F.; PELLOUX, J.; RAYON, C. Cell Wall Metabolism in Response to Abiotic Stress. **Plants**, v.4, 112-166, 2015.

LONGUE JÚNIOR, D.; COLODETTE, J. L. Remoção de hemiceluloses da madeira por tratamento de auto-hidrólise. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 541-550, 2011.

MENESES, V. A.; TRUGILHO, P. F.; CALEGARIO, N.; LEITE, H. G. Efeito da idade e do sítio na densidade básica e produção de massa seca de madeira em

um clone do *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 105, p. 101-116, 2015.

MINISTRY OF AGRICULTURE, FOOD AND FISHERIES OF BRITISH COLUMBIA. **Physiological or abiotic disorders of plants**, 2003. Disponível em: <http://www.agf.gov.bc.ca/speccrop/publications/documents/physiological_factsheet.pdf>. Acesso em: 30 out. 2015.

MOKFIENSKI, A.; COLODETTE, J. L.; GOMIDE, J. L.; CARVALHO, A. M. M. L. A importância relativa da densidade da madeira e do teor de carboidratos no rendimento de polpa e na qualidade do produto. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 3, p. 407-419, 2008.

MORAES, F. A. B; PIRATELLI, C. L.; ACHCAR, J. A. Condições ideais para o consumo específico de madeira na produção de celulose. **Production**, São Paulo, v. 24, n. 3, 2014.

MOURA J. C.M.S.; BONINE, C.A.V.; VIANA, J. O.F.; DORNELAS, M.C.; MAZZAFERA, P. Abiotic and biotic stresses and changes in the lignin content and composition in plants. **Journal of Integrative Plant Biology**, v.52, n.4, p. 360–376. 2010.

NOGUEIRA, E. M.; NELSON, B. W.; FEARNSIDE, P. M. Wood density in dense forest in central Amazonia, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 208, p. 261-286, 2005.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2001, 285 p.

RODRIGUES, B. P. **Qualidade do lenho de árvores de clone de *Eucalyptus grandis* X *E. urophylla* sob estresse abiótico e o impacto na produção de celulose**. 2013. 90f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2013.

SANTOS, S. R.; SANSÍGOLO, C. A. Influência da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* na qualidade da polpa branqueada. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 1, p. 53-63, 2007.

SCHUTZKI, R. E.; CREGG, B. **Abiotic plant disorders: symptoms, signs and solutions**. Extension Bulletin, 2007. Disponível em: <http://www.oakgov.com/msu/Documents/publications/e2996_abiotic.pdf>. Acesso em: 30 out. 2015.

SETTE JUNIOR, C.R.; TOMAZELLO FILHO, M.; DIAS, C.T.S.; CHAGAS, M.P.; LACLAU, J.P. Efeito da aplicação de potássio e sódio nas características do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* W Hill, aos 24 meses de idade. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 3, p. 535-546, 2009.

SHMULSKY, R. JONES, P. D. **Forest Products & Wood Science: an introduction**. 6 ed. New Jersey: Wilwey-Blackwell. 2011. 483 p.

SILVA, S.R.; BAZANI, J.H.; VRECHI, A.; GENTIL, M.G.; ZAMPROGNO-FERREIRA, K.C.; ROSSE, L.N. **Distúrbios abióticos ocasionados pelo estresse hídrico em clones de eucalipto na Veracel**: estudo de caso e hipóteses. In: WORKSHOP DE MELHORAMENTO E XLI REUNIÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA DO PTSM: ADAPTAÇÃO GENOTÍPICA AO ESTRESSE HÍDRICO E TÉRMICO, 6. Botucatu, 2010.

SISTEMA BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

TAPPI - TECHNICAL DIVISIONS AND COMMITTEES. **TAPPI test methods**, Atlanta: Tappi Press, 1998.

VELLINI, A. L. T. T.; PAULA, N. F.; ALVES, P. L. C. A.; PAVANI, L. C.; BONINE, C. A. V.; SCARPINATI, E. A.; PAULA, R. C. Respostas fisiológicas de diferentes clones de eucalipto sob diferentes regimes de irrigação. **Revista Árvore**, Viçosa, v.32, n.4, 2008.

CAPÍTULO II

AGRUPAMENTO DE NÍVEIS DE DISTÚRPIO ABIÓTICO PELA SIMILARIDADE DAS CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA A PRODUÇÃO DE CELULOSE KRAFT

RESUMO

O objetivo deste capítulo foi promover o agrupamento em função da similaridade e apontar combinações, para a produção de polpa celulósica, dos níveis de distúrbio abiótico em *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, utilizando como ferramenta a análise multivariada, com aplicação da técnica de variáveis canônicas. Foram avaliadas árvores de cada um dos três níveis de distúrbio abiótico, analisadas quanto as características da madeira, sendo: dendrométricas (volume de madeira e volume de casca), químicas (teor de extrativos, lignina total e cinzas), anatômicas (diâmetro e frequência vascular, comprimento e espessura da parede de fibra) e densidade básica. Os dados foram submetidos às análises multivariadas por variáveis canônicas e de agrupamento. A análise foi útil permitindo avaliar a importância de cada caractere e agrupar os níveis que apresentaram características similares, com formação de dois grupos denominados A e B. As características mais importantes da madeira na separação dos grupos foram o comprimento e a espessura da parede das fibras. O grupo B apresentou características anatômicas e químicas mais adequadas ao processamento para obtenção de polpa celulósica, quando comparado ao grupo A.

Palavras-Chave: Estresse, Dissimilaridade, Variáveis canônicas.

CHAPTER II

ABIOTIC DESORDES LEVELS OF GANG SIMILARITY BY
CHARACTERISTICS OF EUCALYPTUS WOOD FOR PULP PRODUCTION
KRAFT**ABSTRACT**

The objective of this chapter is to promote the grouping on the basis of similarity and point combinations for the production of pulp, the abiotic disorder levels in *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, using as a tool the multivariate analysis, technical application of canonical variables. Trees of each of the three levels of abiotic disorder, analyzed the wood characteristics were evaluated, as follows: dendrometric (timber volume and volume bark), chemical (extractives content, total lignin and ash), anatomical (diameter and frequency vascular length and fiber wall thickness) and basic density. The data were subjected to multivariate analysis by canonical variables and grouping. The analysis was helpful allowing assess the importance of each character and group levels that had similar characteristics, with the formation of two groups called A and B. The most important characteristics of the wood in the separation of the groups were the length and the wall thickness of the fibers. The group B showed anatomical and chemical characteristics more suited to processing for pulp, compared to group A.

Keywords: Stress, Dissimilarity, Canonical variables.

1. Introdução

As variações nas propriedades físicas, químicas e anatômicas do lenho refletem a complexidade estrutural das árvores, mesmo em condições normais de crescimento. Todavia, quando submetidas aos distúrbios de crescimento, ocasionados por fatores ambientais, essas variações tendem a ser mais acentuadas (RODRIGUES, 2013; WIMMER et al., 2002).

Frente a essa variação, a disseminação do uso das técnicas multivariadas pode facilitar a interpretação das estruturas dos dados, diminuir perdas de informação e permitir a preconização dos usos da madeira.

As técnicas de análises multivariadas são ferramentas amplamente empregadas, pois utilizam simultaneamente as informações de todas as variáveis respostas na interpretação do conjunto de dados, levando em conta as correlações existentes entre elas. Além disso, permitem identificar a semelhança entre os indivíduos e agrupá-los quanto suas similaridades.

No Brasil, alguns pesquisadores têm aplicado as técnicas de componentes principais, variáveis canônicas e agrupamento para avaliação da biomassa vegetal com base nas propriedades da madeira ou carvão vegetal com aplicações no setor energético, moveleiro e de produção de celulose (BOA, 2014; CASTRO et al. 2013; COSTA et al. 2014, LOBÃO et al., 2011, PROTÁSIO et al. 2013).

A técnica de análise por variáveis canônicas, de acordo com Cruz, Regazzi e Carneiro (2012), proporciona a simplificação estrutural dos dados, de forma que a divergência possa ser avaliada por um conjunto bi ou tridimensional de fácil interpretação. Para tanto, realiza-se a transformação das variáveis originais, de forma que a importância estatística seja equalizada e não influencie no resultado das análises (MOITA NETO; MOITA, 1998; REGAZZI, 2010).

Ademais, a técnica de agrupamento hierárquico interliga as amostras por suas associações, de forma que os elementos pertencentes a um mesmo grupo sejam similares entre si em relação às variáveis que neles foram medidas, e os elementos em grupos diferentes sejam heterogêneos em relação a estas mesmas variáveis. Sua interpretação baseia-se na distância entre os pontos, sendo a menor distância correspondente a maior a semelhança entre as amostras (MINGOTI, 2007, MOITA NETO; MOITA, 1998).

Diante da necessidade de agrupar indivíduos com características semelhantes que garantam produtividade aliada à qualidade e, ainda, diluir qualquer efeito negativo da madeira com distúrbio abiótico no processo de polpação Kraft, o presente estudo teve como objetivo avaliar a dissimilaridade entre os três níveis de distúrbio abiótico em *E. grandis* x *E. urophylla*, bem como indicar combinações visando a produção de polpa celulósica, através de técnicas multivariadas.

2. Metodologia

O delineamento experimental empregado para as variáveis da madeira foi o inteiramente casualizado, por nível de distúrbio abiótico, sendo cada repetição representada por uma árvore, com seis árvores por nível.

As variáveis analisadas para caracterização da madeira dos três níveis do distúrbio estão descritas na Tabela 1, com os valores médio, mínimo e máximo, conforme metodologias de obtenção utilizadas no Capítulo 1. Avaliaram-se dez variáveis, desconsiderando aquelas com dependência, como altura e diâmetro de árvores e os índices indicativos de qualidade das fibras, que possam diminuir a eficiência.

Tabela 1 – Valores médio, mínimo e máximo das variáveis para análise multivariada de níveis de distúrbio abiótico em *E. grandis* x *E. urophylla* aos sete anos de idade.

| Variáveis da madeira | Média | Mínimo | Máximo |
|---|---------|--------|---------|
| Volume de madeira (m ³) | 0,1264 | 0,0137 | 0,2731 |
| Volume de casca (m ³) | 0,0080 | 0,0018 | 0,0179 |
| Densidade básica (g.cm ⁻³) | 0,428 | 0,397 | 0,472 |
| Extrativos em acetona (%) | 2,11 | 1,01 | 2,71 |
| Lignina total (%) | 28,11 | 26,88 | 29,26 |
| Cinzas (%) | 0,24 | 0,16 | 0,41 |
| Diâmetro vascular (µm) | 105,73 | 84,17 | 138,09 |
| Frequência vascular (n ^o .mm ⁻²) | 12 | 9 | 21 |
| Comprimento de fibra (µm) | 1189,48 | 759,66 | 1759,94 |
| Espessura da parede de fibra (µm) | 4,73 | 2,99 | 7,17 |

Para aplicar a análise por variáveis canônicas, as variáveis foram padronizadas pelas suas respectivas médias e desvios padrões, gerando-se novas variáveis centradas em zero e com variâncias iguais a 1 (GOTELLI);

ELLISON, 2011), conforme a Equação 1. Esse procedimento é realizado de modo a não influenciar os coeficientes gerados, uma vez que as variáveis selecionadas são de escalas diferentes.

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_j}{s(X_j)} \quad (1)$$

Em que:

Z_{ij} : Variável padronizada;

X_{ij} : Valor observado da j-ésima variável;

\bar{X}_j : Média do tratamento;

$s(X_j)$: Desvio padrão da variável.

A comparação simultânea dos três níveis de distúrbio abiótico e as dez variáveis observadas, realizou-se por MANOVA com teste de significância multivariado com critério de Wilks, com aproximação da distribuição F para verificar se a variável canônica é estatisticamente diferente de zero.

A divergência dos níveis foi determinada pela técnica multivariada baseada em variáveis canônicas, em que avalia o grau de similaridade entre elementos amostrais, que no presente estudo, são os níveis de distúrbio abiótico em *Eucalyptus*, considerando tanto a matriz de covariância residual quanto a de covariância fenotípica entre os caracteres avaliados. Na obtenção das variáveis canônicas, adotaram-se os procedimentos preconizados por Cruz, Regazzi, Carneiro (2012).

Com base nos coeficientes de ponderação (autovetores) foi identificada a importância de cada variável para a divergência dos níveis, nos quais considera os de maior e menor magnitude, em valor absoluto (HAIR et al., 2005).

Após a seleção das variáveis mais representativas em relação à variância total, uma análise de agrupamento foi realizada a fim de obter grupos de níveis mais semelhantes para as características da madeira, cujo dendrograma obtido considerou a medida de dissimilaridade, a distância de Malahanobis.

A partir da análise de agrupamentos, foi gerada a média das características da madeira para cada grupo formado, sendo estes, submetidos a análise de variância (ANOVA) e quando significativos a 5% de probabilidade foi apontada a diferença entre as médias dos grupos.

3. Resultados e Discussão

Foi observado efeito significativo entre os vetores de médias dos níveis de distúrbio abiótico ($P < 0,01$), com base nos resultados obtidos na MANOVA (Tabela 2), com rejeição da hipótese de que os vetores de médias são iguais. Dessa forma, justifica-se o uso de técnicas multivariadas, para a seleção dos níveis com base nas análises de variáveis canônicas.

Tabela 2 – Análise de variância multivariada (MANOVA) para árvores de *E. grandis* x *E. urophylla* com sete anos em função dos níveis de distúrbio abiótico

| Fonte de Variação | Λ (Teste de Wilks) | F | Valor P |
|-------------------|-------------------------------|------|---------|
| Níveis (X) | 0,0123 | 4,81 | 0,0038 |

Na análise fundamentada por variáveis canônicas, verifica-se na Tabela 3, que a primeira variável das características da madeira explicou 90,28% da variância total acumulada, sendo a segunda responsável por 9,72%. Portanto, as informações mais relevantes dos dados amostrais originais estão contidas na primeira variável canônica, uma vez que sua contribuição explica mais de 80% da variância contida no conjunto de características analisadas (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Percebe-se que as características da fibra, tais como comprimento e espessura de parede foram as variáveis com maiores coeficientes de ponderação em valor absoluto para a VC1, com 7,37 e 6,22, respectivamente, podendo ser consideradas as variáveis mais importantes na distinção entre os níveis. Desse modo, as variáveis originais que tem maior coeficiente de ponderação em módulo, nas VCs de maior importância são as que mais contribuem com a variação dos dados, não podendo assim, serem descartadas.

Tabela 3 – Variáveis canônicas estabelecidas pela combinação linear das dez variáveis originais para árvores de *E. grandis* x *E. urophylla* com níveis de distúrbio abiótico

| Variáveis Canônicas (VCs) | | VC1 | VC2 |
|--|------------------------------|---------|---------|
| Autovalores (λ_i) | | 22,6544 | 2,4396 |
| Coeficientes de Ponderação (β_j) | Volume de madeira | -2,4448 | 0,3489 |
| | Volume de casca | 0,7388 | 0,0428 |
| | Densidade básica | 1,7099 | -0,1017 |
| | Extrativos | 0,7090 | -0,7032 |
| | Lignina total | -0,8683 | -0,0350 |
| | Cinzas | 1,7991 | -1,1223 |
| | Diâmetro vascular | 2,7557 | -0,6002 |
| | Frequência vascular | 0,0236 | -0,0375 |
| | Comprimento de fibra | -7,3740 | -1,9822 |
| | Espessura da parede de fibra | 6,2281 | 2,6316 |
| Variância explicativa (%) | | 90,28 | 9,72 |
| Variância acumulada (%) | | 90,28 | 100 |

Em análise a VC2, com menor variância dos dados, a variável espessura de parede da fibra também apresentou maior valor, coincidente com a primeira variável canônica, o que acaba por ser uma análise redundante, justificando a baixa importância prática desta segunda variável canônica. Regazzi (2010) destacou que a importância ou variância das variáveis canônicas decresce da primeira para a última, de forma que as últimas variáveis canônicas representam uma pequena fração da variância total.

Esse resultado reforça a importância das características morfológicas das fibras na seleção e distinção de madeira de *Eucalyptus*, para o setor de produção de polpa celulósica, uma vez que a qualidade da polpa também é resultado de ligações interfibrilares, que proporcionam condições para maiores resistências (JOZSA; MIDDLETON, 1994; WIMMER et al. 2002, FOELKEL, 2007). Em consonância, Lobão et al. (2010) observaram similaridades entre as características anatômicas do lenho juntamente com a densidade básica para espécies florestais, utilizando como recurso, análises estatísticas multivariadas. Um dos benefícios abordados pelos autores é que o método possibilitou a preconização de aplicações da madeira sólida das espécies florestais.

No ano seguinte, os autores supracitados agruparam e identificaram o potencial de uso de 12 espécies florestais (nativas e exóticas) e concluíram que as características mais importantes para o agrupamento foram a espessura da parede da fibra, a densidade básica e o teor de extrativos totais.

Boa (2014) encontrou resultado divergente para caracterização da madeira de nove clones de *E. grandis* x *E. urophylla*, sendo a densidade básica, em sua variação longitudinal, a variável de maior impacto na distinção dos grupos. Vale destacar que, o fator decisivo para o agrupamento dos clones foi a idade, em que o grupo composto por árvores com 13 anos demonstrou potencial favorável ao uso para produção de polpa celulósica.

O estudo da análise de agrupamentos foi realizado utilizando o critério de medida de dissimilaridade, e na Tabela 4 estão apresentadas as distâncias entre os níveis utilizando a medida de dissimilaridade da distância de Mahalanobis. As medidas de dissimilaridade estimadas a partir da distância de Mahalanobis (D^2), apresentaram uma magnitude de 16,3128 a 103,2443, indicando a presença de elevada variabilidade entre os níveis estudados para as características da madeira.

Tabela 4 – Matriz de dissimilaridade com base na distância generalizada de Mahalanobis (D^2) para árvores de *E. grandis* x *E. urophylla* com níveis de distúrbio abiótico

| Nível | I | II | III |
|-------|---|---------|----------|
| I | 0 | 16,3128 | 68,6475 |
| II | | 0 | 103,2443 |
| II | | | 0 |

Foi possível observar que a menor distância (16,3128) ocorreu entre os níveis I e II, ressaltando a similaridade entre eles. Já entre os níveis II e III se observa a maior distância (103,2443), o que permite verificar que estes níveis são os com maior divergência. É interessante salientar que entre as maiores distâncias encontradas, o nível III de distúrbio abiótico esteve presente nas combinações, mostrando-se um nível com características de madeira bastante divergente dos demais.

Outro fator que deve ser evidenciado, é que apesar dos níveis II e III serem os mais representativos da severidade dos sintomas distúrbio abiótico, foram os que mais divergiram, tendo a maior distância.

Com interesse de confirmar os grupos de níveis formados com base na variação de todas as características da madeira, aplicou-se a análise de agrupamento, que forneceu dendrograma, conforme a Figura 1.

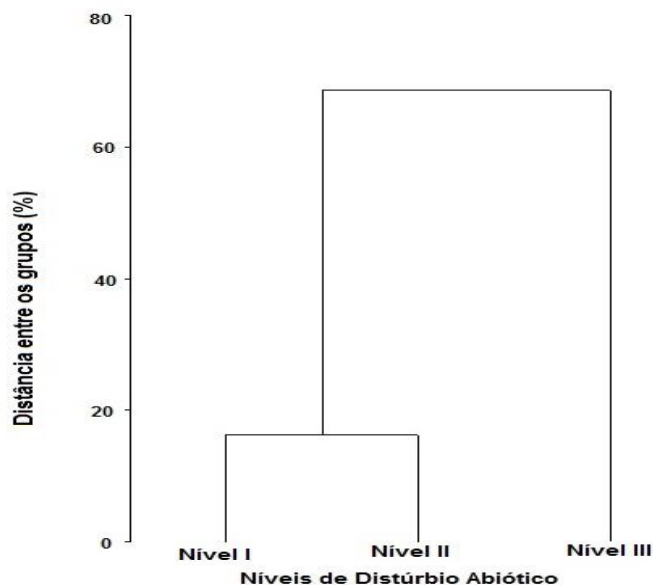


Figura 1 – Dendrograma de similaridade entre os três níveis de distúrbio abiótico do clone de *E. grandis* x *E. urophylla* baseado nas distâncias generalizadas de Mahalanobis. Fonte: O autor.

A estrutura em árvore do dendrograma permitiu verificar com clareza a formação dos grupos obtidos, como indicador da similaridade entre os níveis de distúrbios abióticos.

Observa-se que os níveis I e II formaram um único grupo e elevaram positivamente as características da fibra, de modo a não ser mais observada diferença estatística entre os grupos formados (Tabela 5). Ademais, características como volume de madeira, volume de casca, teor de extrativos, percentual de cinzas e diâmetro vascular tiveram seu efeito minimizado com a formação dos grupos. Provavelmente, essas características foram as mais relevantes para o agrupamento destes níveis.

Um dos objetivos de agrupar as árvores com níveis de distúrbio abiótico, foi a diluição ou mitigação do efeito negativo da madeira para os níveis que apresentaram características menos favoráveis a produção de polpa celulósica, de modo a considerar sua similaridade. Rodrigues (2013) avaliando árvores com maior e menor grau de estresse abiótico, utilizou deste recurso, porém realizou dosagens com percentuais de 80, 20 e 10 para o material com maior grau de

estresse e o “mix” de madeira da empresa, e constatou que os parâmetros de cozimento são favorecidos em menores dosagens.

Tabela 5 – Classificação e valores médios intragrupos das características avaliadas para os clones de *E. grandis* x *E. urophylla*

| Parâmetros | Grupos | | |
|--|--------|---------------------|------------------|
| | CV (%) | A (Nível I e II) | B (Nível III) |
| Volume de madeira (m ³) | 61,47 | 0,1107 a | 0,1576 a |
| Volume de casca (m ³) | 47,75 | 0,0070 a | 0,0100 a |
| Densidade básica (g.cm ⁻³) | 13,21 | 0,433 b | 0,488 a |
| Extrativos em acetona (%) | 22,52 | 2,26 a | 1,82 a |
| Lignina total (%) | 2,52 | 28,37 a | 27,61 b |
| Cinzas (%) | 30,29 | 0,251 a | 0,227 a |
| Diâmetro vascular (µm) | 9,90 | 99,68 b | 117,83 a |
| Frequência vascular (nº.mm ⁻²) | 22,19 | 12 a | 12 a |
| Comprimento de fibra (µm) | 32,63 | 1122,92 a | 1313,60 a |
| Espessura da parede de fibra(µm) | 34,36 | 4,44 a | 5,34 a |

Na horizontal: a>b em nível de 5% de probabilidade pelo teste F (p<0,05).

Embora não tenham sido avaliadas dosagens percentuais para os níveis de distúrbio, a formação dos grupos fornece a informação de que algumas características da madeira são melhoradas e que a diferença entre os níveis tende a ser minimizada, assim como normalmente já é realizado pelas empresas do setor de produção de polpa celulósica, como relatado por Foelkel (2015).

A combinação dos níveis que compõem cada grupo influenciou significativamente as variáveis densidade básica, lignina total e diâmetro vascular, promovendo divergências entre os grupos A e B. O maior valor de densidade básica permaneceu para árvores com o nível III de severidade, porém a menor densidade da madeira oriunda do nível I de distúrbio demonstrou elevação quando associada ao nível II, resultando numa diferença de 10%.

Verifica-se que o teor de lignina foi menor para o grupo B, com redução de 2,6% comparado ao grupo A. Esse percentual, para um mesmo material genético, é considerado alto e sugere um aumento de 1,7% no rendimento da polpação e redução de 0,3% na carga de álcali ativo (FOELKEL, 2013).

Gomide, Fantuzzi Neto e Regazzi, (2010) destacaram que o teor de lignina atrelado ao teor de extrativos são importantes características de qualidade da madeira, afetando significativamente o rendimento do processo de polpação.

O aumento de aproximadamente 18% no diâmetro vascular de árvores que compõem o grupo B em relação ao grupo A, provavelmente está atrelado a adaptação do clone em condições severas de estresse abiótico, o que facilita a impregnação de reagentes químicos durante a polpação.

Observando pelo ponto de vista descritivo, verifica-se que os maiores incrementos volumétricos foram em árvores com nível III de distúrbio abiótico que constituem o grupo B, com acréscimo de 42% frente ao grupo A. Essa variável, aliada a densidade básica, resulta em 48 Kg e 77 kg de madeira, em média por árvore, para o primeiro e segundo grupo, respectivamente. Embora a maior quantidade de madeira seja para o grupo B, o resultado foi inferior ao encontrado por Boa (2014) em clones com 5 anos de idade, demonstrando a interferência do distúrbio abiótico na produtividade.

De acordo com as características avaliadas atreladas ao agrupamento dos níveis, nota-se que o nível III de distúrbio abiótico possui melhor desempenho frente ao demais níveis, com ressalva ao baixo volume de madeira produzido, em todos os grupos, fator esse que deve ser considerado durante a aplicação prática dos materiais estressados.

4. Conclusões

Os resultados do presente trabalho permitem concluir que a aplicação de análises multivariadas por variáveis canônicas para características da madeira foi eficiente no agrupamento dos níveis de distúrbio abiótico, visando a produção de polpa celulósica.

O comprimento e espessura da parede da fibra foram as variáveis que mais contribuíram na dissimilaridade dos níveis de distúrbios abióticos em *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*.

O grupo B, formado pelo Nível III, apresentou características anatômicas e químicas mais adequadas ao processamento para obtenção de polpa celulósica quando comparado ao grupo A.

As interpretações estatísticas permitiram concluir que o agrupamento dos níveis tende a melhorar as características da madeira, contudo, é necessário que

os níveis sejam homogêneos e comprovado por meio de cozimentos, os potenciais benefícios oriundos desta prática.

5. Referências Bibliográficas

BOA, A. C. **Caracterização da madeira da metade superior do tronco de árvores de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* de 13 anos para produção de celulose.** 2014. 92f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2014.

CASTRO, A. F. M.; CASTRO, R. V. O.; CARNEIRO, A. C. O.; LIMA, J. E.; SANTOS, R. C.; PEREIRA, B. L. C.; ALVES, I. C. N. Análise multivariada para seleção de clones de eucalipto destinados à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.48, n.6, p.627-635, 2013.

COSTA, T. G.; BIANCHI, M. L.; PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F.; PEREIRA, A. J. Qualidade da madeira de cinco espécies de ocorrência no cerrado para produção de carvão vegetal. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 1, p. 37-46, 2014.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.** v.1, 4. ed. Viçosa: Editora UFV, 2012.

FOELKEL, C. E. B. **As fibras dos eucaliptos e as qualidades requeridas na celulose Kraft para a fabricação de papel.** Eucalyptus Online Book. n.3, 2007. Disponível em: <<http://www.eucalyptus.com.br>>. Acesso em: 22 jan. 2016.

FOELKEL, C. E. B. **Aspectos práticos e conceituais sobre a fabricação de celulose de mercado do tipo kraft branqueada a partir de madeira de eucalipto.** Eucalyptus Online Book. n.31, 2013. Disponível em: <<http://www.eucalyptus.com.br>>. Acesso em: 22 jan. 2016.

FOELKEL, C. E. B. **Qualidade da Madeira do Eucalipto - Reflexões Acerca da Utilização da Densidade Básica como Indicador de Qualidade da Madeira no Setor de Base Florestal.** Eucalyptus Online Book. n.41, 2015. Disponível em: <<http://www.eucalyptus.com.br>>. Acesso em: 22 jan. 2016.

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**, Viçosa, v.34, n.2, p.339-344, 2010.

GOTELLI, N.J.; ELLISON, A.M. **Princípios de estatística em ecologia.** 1. ed. Porto Alegre: Artmed, 2011. 528 p.

HAIR, J. F., ANDERSON, R.F.; TATHAN, R.I.; BLACK, W.C. **Análise multivariada de dados.** 5. ed. Porto Alegre: Bookman. 2005, 593 p.

JOZSA, L.A.; MIDDLETON, G.R. **A discussion of wood quality attributes and their practical implications**. n.34, Vancouver: Forintek Canada Corp. Western Laboratory, 1994.

MINGOTI, S.A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada**: uma abordagem aplicada. Belo Horizonte: UFMG, 2007. 297p.

MOITA NETO, J. M., MOITA, G. C. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. **Química Nova**, São Paulo, v. 21, n. 4, p. 467-469, 1998.

LOBÃO, M. S. et al. Agrupamento de espécies florestais pela similaridade das características físico-anatômicas e usos da madeira. **Cerne**, Lavras, v. 16, Suplemento, p. 97-105, 2010.

LOBÃO, M.S. et al. Agrupamento de espécies florestais por análises univariadas e multivariadas das características anatômica, física e química das suas madeiras. **Scientia Forestalis**, v.39, p.469-477, 2011.

PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A. M.; REIS, A. A.; TRUGILHO, P. F. Seleção de clones de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal e bioenergia por meio de técnicas univariadas e multivariadas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.41, n.97, p. 15-28, 2013.

REGAZZI, A. J. **Análise multivariada**. Notas de Aula. Departamento de estatística – DET: Universidade Federal de Viçosa. 2010.

RODRIGUES, B. P. **Qualidade do lenho de árvores de clone de *Eucalyptus grandis* X *E. urophyllas* sob estresse abiótico e o impacto na produção de celulose**. 2013. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2013.

WIMMER, R.; DOWNES, G.M.; EVANS, R.; RASMUSSEN, G.; FRENCH, J. Direct effects of wood characteristics on pulp and handsheet properties of *Eucalyptus globulus*, **Holzforschung**, v. 56, n. 3, p. 244-252, 2002.

2. CONCLUSÕES GERAIS

O volume de madeira das árvores foi influenciado pela intensidade do distúrbio abiótico, sendo as árvores com nível mais severo responsáveis pela maior produção em volume em relação às demais.

As características anatômicas das árvores com distúrbio abiótico não diferiram de árvores com mesma idade sob condições normais de crescimento. Porém, na madeira de árvores com maior nível de distúrbio, foi alterado o diâmetro vascular, comprimento e espessura de parede das fibras.

Houve alteração da densidade básica da madeira das árvores mais estressadas, associada as variações encontradas nos parâmetros de vasos e fibras. A densidade aparente para essa madeira apresentou comportamento diferenciado próximo a medula.

Os componentes químicos da madeira variaram conforme severidade dos distúrbios abióticos, sendo observada a influência do estresse nos teores de extrativos em acetona, lignina solúvel e cinzas.

Árvores com nível III de distúrbio demonstraram alteração nos teores de extrativos. A polpação Kraft foi favorecida para essa madeira, com maior rendimento e conseqüentemente menor consumo específico da madeira.

A dissimilaridade dos níveis de distúrbio abiótico foi obtida com base nas dez variáveis analisadas, sendo o comprimento e espessura de parede de fibra as características mais importantes para distinção.

O agrupamento dos níveis conforme homogeneidade das características possibilitou melhorias nas variáveis analisadas. Todavia, há necessidade de realização prática de polpação para averiguar os benefícios do processamento em forma conjunta dos níveis.