

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

ISADORA SILVA CORRADI

**EFEITO DO AMBIENTE NA QUALIDADE DA MADEIRA PARA PRODUÇÃO DE POLPA
CELULÓSICA BRANQUEADA DE EUCALIPTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA - MINAS GERAIS

2019

ISADORA SILVA CORRADI

**EFEITO DO AMBIENTE NA QUALIDADE DA MADEIRA PARA PRODUÇÃO DE POLPA
CELULÓSICA BRANQUEADA DE EUCALIPTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Rubens Chaves de Oliveira

Coorientadores: Fernando J. Borges Gomes

Glêison Augusto do Santos

VIÇOSA - MINAS GERAIS

2019

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

C823e
2019

Corradi, Isadora Silva, 1993-

Efeito do ambiente na qualidade da madeira para produção
de polpa celulósica branqueada de eucalipto / Isadora Silva
Corradi. – Viçosa, MG, 2019.

100f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Rubens Chaves de Oliveira.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.67-74.

1. Polpação alcalina por sulfato. 2. Polpa de madeira -
Branqueamento. 3. Sítios. 4. Celulose. I. Universidade Federal
de Viçosa. Departamento de Engenharia Florestal. Programa de
Pós-Graduação em Ciência Florestal. II. Título.

CDO adapt. CDD 634.982911

ISADORA SILVA CORRADI

**EFEITO DO AMBIENTE NA QUALIDADE DA MADEIRA PARA PRODUÇÃO DE
POLPA CELULÓSICA BRANQUEADA DE EUCALIPTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 02 de agosto de 2019.

Assentimento:



Isadora Silva Corradi
Autora



Rubens Chaves de Oliveira
Orientador

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, fonte de força e sabedoria para que eu chegasse até aqui.

Agradeço aos meus pais Silvana e Orlando, que não mediram esforços para que eu pudesse chegar até aqui, e sempre acreditaram em mim, dedico tudo o que tenho e sou a eles.

À minha irmã Isabela e cunhado André, que me amparam em Viçosa desde o início da graduação, agradeço pelo companheirismo e amizade.

Aos meus irmãos Augusto e Álvaro, e minha cunhada Daiana pelo companheirismo, incentivo e apoio.

Aos meus sobrinhos Maria Antônia e Francisco, pelos momentos de leveza e alegria. Enfim a toda minha família por todo o carinho.

Ao Laboratório de Celulose e Papel e todos os funcionários e estudantes do laboratório de celulose e papel, que sempre me ajudaram e auxiliaram, especialmente, Adriana, Bruna, Felipe, Iara, Júlia, Marcela, Priscila, Cássio e Carlinhos pelo suporte, sem vocês não teria conseguido.

A todos os meus amigos que me acompanharam desde o início, pela amizade e felicidade compartilhada.

À orientação dos professores Jorge Luiz Colodette e Rubens Chaves de Oliveira, pelos ensinamentos ministrados, profissionalismo e pelo incentivo e confiança em mim depositada ao longo da realização do trabalho de pesquisa.

Aos professores Fernando Gomes e Glêison dos Santos, pela coorientação, pelos ensinamentos, pela participação ativa durante as discussões e auxílio durante o projeto.

Ao professor Hélio Garcia e ao estudante de doutorado Miguel Simões, pela ajuda com as análises estatísticas.

A empresa CENIBRA e funcionários, especialmente ao Fernando Leite, pelo material, ajuda, orientação, e pela oportunidade e confiança de poder trabalhar com esse projeto.

À Universidade Federal de Viçosa, por meio do Departamento de Engenharia Florestal, pela oportunidade de realização do curso de Pós-Graduação em Ciência Florestal.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão das bolsas de estudo,

A todos que de alguma forma estiveram comigo durante essa caminhada, o meu muito obrigada!

RESUMO

CORRADI, Isadora Silva, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2019. **Efeito do ambiente na qualidade da madeira para produção de polpa celulósica branqueada de eucalipto.** Orientador: Rubens Chaves de Oliveira. Coorientadores: Fernando José Borges Gomes e Glêison Augusto dos Santos.

O Brasil se destaca no cenário mundial como um dos maiores produtores de celulose, ocupando o segundo lugar geral e primeiro em produção de celulose branqueada de fibra curta, sendo este o principal setor consumidor de madeira advinda de áreas plantadas. Tais áreas apresentam distintos fatores climáticos e edáficos em virtude da ampla extensão territorial do Brasil, o que afeta a adaptação e produtividade das diferentes espécies, híbridos e clones plantados. Dessa maneira, o estudo do desempenho dos clones em sítios diferentes é imprescindível para a evolução nos avanços tecnológicos de melhoria genética e nos processos industriais de produção de polpa celulósica. Sendo assim, esse trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do sítio na qualidade de clones de eucalipto para produção de polpa celulósica branqueada. Foram avaliados três clones de *Eucalyptus*, C1, C2 e C3, advindos de cinco sítios do Brasil, sendo eles Bocaiúva, Belo Oriente e Guanhães em Minas Gerais, Três Lagoas no Mato Grosso do Sul e Telêmaco Borba no Paraná. Os clones foram avaliados quanto a sua caracterização química e térmica, densidade básica, produção de polpa celulósica branqueada, qualidade e morfologia da polpa branqueada, além dos cálculos dos indicadores de produção e correlações da qualidade da madeira com as características do ambiente. Na caracterização química, o sítio apresentou efeito nos teores de extrativos, cinzas e na relação S/G da lignina; já nos teores de lignina e ácidos urônicos não se verificou nenhuma influência, assim como também não apresentou efeito na caracterização térmica da madeira. Na produção de polpa celulósica branqueada, o sítio afetou o rendimento, consumo de reagentes e qualidade da polpa produzida. As características do ambiente se correlacionaram significativamente com as características químicas da madeira, exceto com o teor de lignina e com os parâmetros de produção, rendimento, viscosidade e demanda de álcali. A densidade básica não apresentou correlação significativa com o ambiente, o que sugere a essa característica apresentar alta herdabilidade. Os indicadores de produção, IMAcel e consumo específico de madeira, foram influenciados pelo sítio, principalmente pelo incremento médio anual encontrado em cada região estudada. De maneira geral, as regiões de Telêmaco Borba e Três Lagoas se destacaram positivamente na maioria dos parâmetros para a produção de celulose estudados e a região de Bocaiúva foi a que se destacou negativamente. Os clones C2 e C3 apresentaram desempenho superior na região de Telêmaco Borba. Nas regiões de Três Lagoas e Guanhães, os clones C1 e C2 apresentaram desempenho semelhante e superior ao clone C3. Já nas regiões de Bocaiúva e Belo Oriente, o clone C1 apresentou melhor comportamento, podendo esse ser mais resistente a condições restritas de crescimento, já que essas regiões apresentaram condições mais críticas de estresse.

Palavras-chave: Qualidade da madeira. Produção de polpa celulósica. Características edafoclimáticas.

ABSTRACT

CORRADI, Isadora Silva, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2019. **Effect of environment on wood quality for the bleached eucalyptus pulp production.** Advisor: Rubens Chaves de Oliveira. Co-advisors: Fernando José Borges Gomes and Glêison Augusto dos Santos.

Brazil stands out in the world pulp scenario as one of the largest pulp producers, occupying the second place in the overall ranking and the first one in bleached hardwood pulp production, as it is the main consumer of wood coming from planted areas. These areas present distinct climatic and edaphic factors due to their wide territorial extension, which affect the adaptation and productivity of different species, hybrids and planted clones. Thus, the study of clone performance in different sites is essential for the evolution in technological aspects of genetic improvement and in the industrial processes of cellulosic pulp production. Thereby, this work aimed to evaluate the effect of the site on the quality of clones of eucalyptus for the production of bleached pulp. Three clones of the Eucalyptus, C1, C2 and C3, from five sites in Brazil, Bocaiúva, Belo Oriente and Guanhães in Minas Gerais, Três Lagoas in Mato Grosso do Sul and Telêmaco Borba in Paraná, were evaluated. Chemical and thermal characterization, basic density, bleached pulp production, bleached pulp quality and morphology were analyzed, as well as the calculation of yield indicators and correlations of wood quality with environmental characteristics. In the chemical characterization, the site had effect in the contents of extractives, ashes and in the S/G ratio of lignin, whereas in the contents of lignin and uronic acids, none influences were noticed. It also had no effect on the wood thermal characterization. In the production of bleached pulp, the site affected the yield, reagent consumption and quality of the pulp produced. The environmental characteristics correlated significantly with the chemical characteristics of the wood, except for the lignin content. In addition, with the parameters of production, yield, viscosity and alkali demand. The basic density did not present significant correlation with the environment, suggesting that this characteristic presents high heritability. The site influenced the indicators of production, IMAcel and specific wood consumption, mainly by the average annual increase found in each region studied. In general, the region of Telêmaco Borba and Três Lagoas stood out positively in most of the parameters for the pulp production studied and the Bocaiúva region stood out negatively. Clones C2 and C3 showed superior performance in the region of Telêmaco Borba. In the region of Três Lagoas and Guanhães, clones C1 and C2 presented similar and superior performance compared to clone C3. In the Bocaiúva and Belo Oriente regions, clone C1 showed better behavior, which may indicate that it is more resistant to restricted growth conditions, since these regions presented more critical stress conditions.

Keywords: Wood quality. Pulp production. Edaphoclimatic characteristics.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1: Mapa representativo das regiões de coleta das amostras dos três clones de eucalipto.	16
Figura 2: Teor de ácidos urônicos de três clones/regiões avaliados e média por clone e por região.	21
Figura 3: Teor de lignina total de três clones/regiões avaliados e média por clone e por região.	22
Figura 4: Relação S/G de três clones/regiões avaliados e média por clone e por região. Estatística de comparação de médias realizada em cada clone, onde médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste tukey ($P \leq 0,05$).	22
Figura 5: Teor de extrativos de três clones/regiões avaliados e média dos teores de extrativos por clone e por região. Estatística de comparação de médias realizada em cada clone, onde médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste tukey ($P \leq 0,05$).	23
Figura 6: Teor de cinzas de três clones/regiões avaliados e média por clone e por região. Estatística de comparação de médias realizada em cada clone, onde médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste tukey ($P \leq 0,05$).	24
Figura 7: Valor de poder calorífico de três clones/regiões avaliados e média por clone e por região.	25
Figura 8: Termogramas obtidos por TGA e curvas de DTG do clone C1 – A; clone C2 – C; e clone C3 – F, em cinco regiões diferentes (1- Bocaiúva; 2- Belo oriente; 3- Guanhães; 4- Três Lagoas e 5- Telêmaco Borba).	27

CAPÍTULO 2

Figura 1. Média da classificação da picagem de cavacos do clone C1 em cinco regiões, em relação a espessura, cascas, finos, lascas, nós e ponta de toras.	43
Figura 2. Média da classificação da picagem de cavacos do clone C2 em cinco regiões, em relação a espessura, cascas, finos, lascas, nós e ponta de toras.	44
Figura 3. Média da classificação da picagem de cavacos do clone C3 em cinco regiões, em relação a espessura, cascas, finos, lascas, nós e ponta de toras.	44
Figura 4. Densidade básica de três clones/regiões avaliados e média das densidades básicas por clone e por região, em que médias seguidas por mesma letra não diferem entre si pelo teste tukey ($P \leq 0,05$).	46
Figura 5. Resultados referentes a avaliação da polpação kraft de três clones/regiões para kappa 17, (A) rendimento depurado (%); (B) demanda de álcali efetivo requerido para atingir kappa $17 \pm 0,5$ e fator H	

do cozimento; (C) viscosidade da polpa marrom kraft; (D) teor de ácidos hexenurônicos presente na polpa marrom kraft.....47

Figura 6: Resultados referentes a avaliação do teor de sólidos do licor negro provenientes dos cozimentos kraft realizados em três clones/regiões, (A) Teor de sólidos totais (%); (B) Teor de sólidos orgânicos e inorgânicos.50

Figura 7. Gráfico dos parâmetros avaliativos da pré-deslignificação com oxigênio das três polpas de três clones/região, (A) Eficiência, %; (B) Seletividade; (C) Perda de viscosidade, dm^3/kg51

Figura 8: Parâmetros avaliativos da sequência de branqueamento D*(EP)D realizada nas polpas de três clones/regiões, (A) Cloro ativo total, kg/tsa ; (B) Branqueabilidade; (C) Viscosidade, dm^3/kg ; (D) Número de cor posterior (NCP).52

Figura 9: Avaliação da intensidade de refino para as polpas celulósicas dos clone /região.56

Figura 10: Efeito da energia de refino no volume específico das polpas celulósicas branqueadas dos clones/região.57

Figura 11: Efeito da energia de refino na resistência à passagem de ar das polpas celulósicas branqueadas dos clones/região.57

Figura 12: Efeito da energia de refino no índice de rasgo das polpas celulósicas branqueadas dos clones/região.58

Figura 13: Efeito da energia de refino no índice de arrebatamento das polpas celulósicas branqueadas dos clones/região.59

Figura 14: Efeito da energia de refino no índice de tração das polpas celulósicas branqueadas dos clones/região.60

Figura 15: Efeito da energia de refino no módulo de elasticidade específico das polpas celulósicas branqueadas dos clones/região.60

Figura 16: Incremento médio anual de celulose de três clones/sítio63

Figura 17: Consumo específico de madeira para produção de celulose de três clones/sítio.....64

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1: Localização geográfica e condições edafoclimáticas dos cinco sítios experimentais, clima segundo a classificação de Köppen.....	17
Tabela 2: Parâmetros analíticos e suas normas	17
Tabela 3: Dados meteorológicas de cinco regiões do Brasil (2012 - 2018).....	18
Tabela 4: Produtividade dos clones C1, C2 e C3 nas cinco regiões do Brasil.	18
Tabela 5: Carboidratos, na forma anidra, presentes na madeira de três clones/região de eucaliptos...	19
Tabela 6: Valores médios dos metais Cobre (Cu), Boro (B), manganês (Mn), Ferro (Fe), zinco (Zn) e Cloro (Cl) de três clones/regiões.....	25
Tabela 7: correlação ambiente x caracterização química de três clones de <i>Eucalyptus</i>	29

CAPÍTULO 2

Tabela 1: Clones avaliados.....	35
Tabela 2: Localização geográfica e condições edafoclimáticas dos cinco sítios experimentais, clima segundo a classificação de Köppen.....	35
Tabela 3. Condições empregadas no cozimento kraft das amostras de eucalipto para atingir número kappa $17 \pm 0,5$, e álcali efetivo residual de 5 a 7 g/L.....	36
Tabela 4: Parâmetros avaliativos da polpação kraft.....	37
Tabela 5. Condições da sequência de branqueamento O D*(EP)D para atingir alvura de 90% ISO....	37
Tabela 6. Procedimentos analíticos para caracterização dos filtrados e polpas após o branqueamento.	38
Tabela 7. Procedimentos analíticos para caracterização das folhas testes	40
Tabela 8: Dados meteorológicas de cinco regiões do Brasil (2012 - 2018).....	41
Tabela 9: Produtividade dos clones C1, C2 e C3 nas cinco regiões do Brasil.	41
Tabela 10: Análise morfológica do material fibroso para as polpas branqueadas de três clones/sítio..	54
Tabela 11. Correlações entre as variáveis meteorológicas e produtividade do ambiente com a densidade básica, rendimento, álcali efetivo e viscosidade.....	61
Tabela 12: Correlação entre as variáveis de constituição química extrativos e lignina da madeira e da densidade básica com o rendimento total, álcali efetivo e viscosidade.....	62

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	11
CAPÍTULO 1.....	13
EFEITO DO SÍTIO NA QUALIDADE DA MADEIRA DE CLONES DE EUCALIPTO	13
1. INTRODUÇÃO	14
2. MATERIAL E MÉTODOS	16
2.1. Caracterização química	17
2.2. Caracterização térmica	18
2.3. Correlação ambiente x caracterização química	18
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
3.1. Caracterização química	19
3.2. Caracterização térmica	25
3.3. Correlação ambiente x caracterização química	28
4. CONCLUSÕES	30
CAPÍTULO 2.....	31
EFEITO DO SÍTIO NA PRODUÇÃO DE CELULOSE BRANQUEADA DE CLONES DE EUCALIPTO	31
1. INTRODUÇÃO	33
2. MATERIAL E MÉTODOS	35
2.1. Rede experimental e material genético	35
2.2. Classificação da qualidade de picagem	35
2.3. Densidade básica	36
2.4. Polpação kraft.....	36
2.5. Branqueamento.....	37
2.1. Propriedades morfológicas	39
2.2. Propriedades da polpa branqueada	40
2.3. Correlação ambiente x produção celulose	41
2.4. Indicadores de produção.....	41
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
3.1. Classificação da picagem dos cavacos	43
3.2. Densidade básica	45
3.3. Cozimento kraft.....	47
3.4. Branqueamento.....	50
3.5. Morfologia.....	54
3.6. Propriedades da polpa branqueada	55

3.7.	Correlação ambiente x produção celulose	61
3.8.	Indicadores de produção.....	63
4.	CONCLUSÃO	65
CONCLUSÃO GERAL		66
REFERÊNCIAS		67
APÊNDICE A		75
APÊNDICE B		77

INTRODUÇÃO GERAL

A indústria brasileira de árvores plantadas é, atualmente, uma referência mundial por sua atuação pautada pela sustentabilidade, competitividade e inovação. Ocupa uma área de 7,48 milhões de hectares, sendo responsável por 91% de toda madeira produzida para fins industriais e 6,2% do PIB Industrial do país. Os plantios de eucalipto ocupam 5,7 milhões de hectares da área plantada em toda extensão do país, estando localizado principalmente, em Minas Gerais (24%), São Paulo (17%) e no Mato Grosso do Sul (15%) (IBA, 2017). O setor brasileiro de florestas plantadas, é um dos propulsores do desenvolvimento econômico do Brasil, sendo responsável por cerca de R\$ 11,4 bilhões em tributos federais. Em relação ao PIB brasileiro, o setor fechou o ano de 2016 com participação de 1,1% de toda riqueza gerada no País e 6,2% do PIB industrial (IBA, 2017)

O Brasil possui uma grande variação de clima, relevo e solo, devido a sua ampla extensão territorial, apresentando diferentes sítios de cultivo. Sítio é considerado a soma dos fatores ambientais, bióticos e edáficos que circundam as árvores em uma área florestal (SPURR E BARNES, 1980). Fatores climáticos e edáficos, como disponibilidade hídrica e de nutrientes, propriedades físicas e químicas do solo, podem afetar a adaptação e produtividade das diferentes espécies, híbridos e clones plantados em determinada região. O desempenho do cultivar varia, normalmente com o ambiente, existindo uma interação cultivares x ambientes (ANPUTHAS et al., 2011).

Dessa maneira, com a forte importância econômica do setor brasileiro de florestas plantadas ligadas ao *Eucalyptus* e a variação de características edafoclimáticas dos diversos sítios de cultivo, o investimento em melhoramento genético se torna de extrema importância. As técnicas avançadas de clonagem, permite a seleção de indivíduos adaptáveis em diferentes sítios e menos susceptíveis aos estresses ambientais, como por exemplo ao déficit hídrico e altas temperaturas. Assim são produzidos materiais genéticos, que se comportam de maneiras distintas de acordo com o local de plantio, existindo a interação genótipo x ambiente.

O setor de celulose e papel é o principal consumidor de madeira de área plantada do Brasil, estando o Brasil nesse setor em segundo lugar no ranking de produção de celulose, sendo o primeiro em produção de celulose de fibra curta (IBA, 2017). Sendo assim a centralização de esforços no trabalho conjunto entre os setores florestal e industrial, busca a produção de matéria – prima com características qualitativas e quantitativas químicas e físicas homogêneas entre os diversos sítios de plantio, é importante que os clones sofram o mínimo efeito nas suas características tecnológicas em razão do sítio utilizado, para assim minimizar o impacto na qualidade da produção do produto final. (GOUVEA et al. 2012).

O estudo do desempenho dos clones em sítios diferentes, é imprescindível para a evolução nos avanços tecnológicos de melhoria genética e nos processos industriais, levando a um impacto qualitativo e quantitativo na produção de matéria prima para a pasta celulósica.

Sendo portanto, a dissertação dividida em dois capítulos:

Capítulo 1: Efeito do sítio na qualidade da madeira de clones de eucalipto.

Capítulo 2: Efeito do sítio na produção de celulose branqueada de clones de eucalipto.

CAPÍTULO 1

EFEITO DO AMBIENTE NA QUALIDADE DA MADEIRA DE CLONES DE EUCALIPTO

RESUMO - A indústria de celulose e papel no Brasil está em constante crescimento, gerando a expansão das áreas de plantios, atingindo sítios que fornecem condições adversas ao crescimento das árvores. Com isso, esse capítulo objetivou avaliar o efeito do ambiente de cultivo, característico de cinco sítios de plantio, na qualidade da madeira de clones de eucalipto, com intuito de realizar uma análise comparativa entre os sítios de plantio e o seu impacto na qualidade da madeira. Foram avaliados três clones da espécie *Eucalyptus*, advindos de cinco diferentes sítios do Brasil. Para avaliar a qualidade da madeira foram realizadas as análises de caracterização química e térmica da serragem das amostras, também foram feitas análises de correlação entre as características do ambiente com a caracterização química das árvores. Os teores de lignina e ácidos urônicos encontrados para os três clones nas cinco regiões não apresentaram diferenças significativas estatisticamente, já os teores de extrativos, cinzas e metais e a relação S/G da lignina apresentaram diferenças significativas entre as regiões, sendo as regiões de Três Lagoas e Telêmaco Borba aquelas que apresentaram menor relação S/G da lignina e menor teor de extrativos, maiores teores de metais. O clone C1 apresentou maiores teores de lignina, cinzas e metais e menor relação S/G da lignina. O clone C2 apresentou menores teores de extrativos, ácidos urônicos e cinzas e o clone C3 menores teores de lignina e maiores teores de ácidos urônicos e extrativos, além de apresentar maior relação S/G da lignina. Em relação a caracterização térmica os resultados de poder calorífico superior (PCS) apresentou pouca variação entre as regiões, sendo as regiões pertencentes ao estado de Minas Gerais aquelas que apresentaram maiores teores de PCS, sendo essas regiões as que apresentaram também maiores teores de extrativos, que influencia tal característica. Na análise termogravimétrica, as amostras apresentaram degradação térmica da madeira próximas, que podem indicar pouca variação na constituição de polissacarídeos e lignina das amostras para esta propriedade. As características edafoclimáticas e de IMA das regiões apresentaram correlação significativa com os teores de extrativos, cinzas e metais e com a relação S/G da lignina. A lignina não apresentou correlação com nenhuma característica do ambiente. De acordo com os resultados obtidos nesse capítulo, conclui-se que o sítio de plantio apresentou efeito significativos nas características químicas de teor de extrativos, relação siringil/guaiacil da lignina e minerais da madeira para os três clones de *Eucalyptus* avaliados. Contudo não apresentou efeito nos teores de lignina e ácidos urônicos, como também não apresentou efeito significativo na propriedade térmica de poder calorífico superior e na degradação térmica da madeira dos três clones de *Eucalyptus*.

Palavras-chave: Sítio. Caracterização química. Caracterização térmica.

1. INTRODUÇÃO

A indústria de celulose e papel no Brasil está em constante crescimento, em 2016 o Brasil produziu 8,1% de pasta celulósica a mais que no ano anterior, subindo no ranking mundial de produção de celulose, para o segundo lugar, com uma produção de 18,8 milhões de toneladas de polpa celulósica de fibra longa e curta e pasta de alto rendimento (IBA, 2017). Esse crescimento em termo de produção foi consequência de aumento do potencial produtivo de unidades fabris já em operação, bem como o surgimento de novas plantas fabris (RIBEIRO, 2017; SOUZA, 2018). Há ainda novas expansões e projetos *green field* previstos para serem instalados nos próximos anos no Brasil (DURATEX, 2019). Dessa forma, as indústrias desse setor têm desenvolvido estratégias buscando ao aumento da oferta de matéria prima para atender as demandas industriais.

Considerando a logística operacional dentre outros fatores estratégicos inerentes a cada empreendimento industrial, e para atender à crescente demanda de madeira, houve a expansão das áreas de plantios (OLIVRE, 2019). Tem se observado que alguns sítios escolhidos para plantio podem apresentar características edafoclimáticas não favoráveis às culturas florestais (IPEF, 2019). Esses parâmetros têm sido denominados de “fatores de estresse” para as árvores cultivadas nessas áreas. Para algumas dessas há fatores de estresse considerados agressivos para as culturas florestais (LOBO & JÚNIOR, 2015). Ainda considerando-se áreas tradicionais de plantio também tem sido observado os fenômenos de estresse nas plantações, que podem estar relacionados as variações de regime hídrico e térmico intra e inter-anual, devido às mudanças climáticas, e tem causado alterações nas sensibilidades de clones.

Sabe se que a qualidade da madeira é um fator de grande relevância no processo de produção de polpa celulósica, e esta chega a responder por mais de 50% do custo fabril em alguns cenários (GOMIDE et al., 2010). Portanto, para garantir a produção de matéria-prima mais homogênea possível, mantendo a competitividade da indústria de celulose e papel, as empresas têm investido em programas de melhoramento. Dentre os desafios do setor, a qualidade de matérias primas relacionadas as condições ambientais têm ganhado destaque (SANTOS, 2012). Considera-se importante que os clones selecionados sofram o mínimo efeito nas suas características tecnológicas em razão do sítio de plantio utilizado, com o intuito de minimizar implicações nas tecnologias do processo industrial, estas que podem gerar prejuízos as fábricas em termos de rendimento fabril ou da qualidade do produto final (EVANGELISTA, 2006).

Segundo Garcia (1998), o estudo da diversidade genética de clones de eucalipto deve considerar tanto características de qualidade da madeira como de crescimento, a fim de assegurar melhor qualidade da matéria-prima associada à maior produtividade, como também as características físicas e químicas da madeira. A associação de características químicas dos clones, também tem se feito importante na pré-seleção de matéria-prima para produção de polpa celulósica.

A composição química da madeira é caracterizada pela presença de componentes fundamentais relacionados a composição estrutural das fibras, e de componentes relacionados as funções fisiológicas das árvores. Os componentes fundamentais caracterizam a madeira, pois são parte integrantes das paredes das fibras e da lamela média. São considerados componentes fundamentais a celulose, hemiceluloses e a lignina. Os conteúdos de extrativos e inorgânicos atuam como componentes complementares, em geral associados as funções fisiológicas das plantas, e também devem ser quantificados (OLIVEIRA, 1997 e SILVA, 2002).

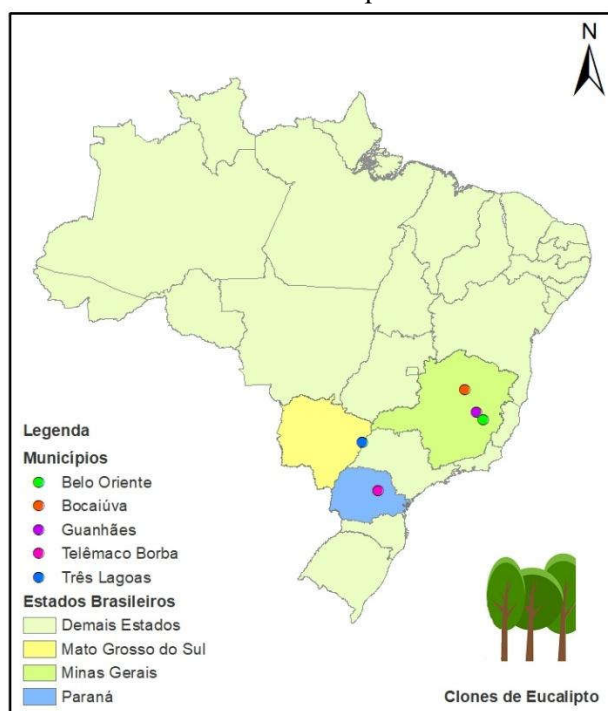
Os estudos de melhoramento de *Eucalyptus* spp. para estabelecimento de florestas com a qualidade requerida pelas empresas requerem análises, e testes de milhares de clones potenciais, que devem ser submetidos a rigorosos testes clonais. Apenas depois desses estudos é que são selecionados os clones para multiplicação e implantação de floresta de alta produtividade, com madeira de alta qualidade tecnológica para produção de polpa celulósica (GOMIDE; FANTUZZI NETO; REGAZZI, 2010).

A qualidade da madeira é um fator de extrema importância quando o objetivo é a produção de celulose com alto rendimento industrial (GOMES et al., 2015). Com isso o objetivo desse trabalho é avaliar o efeito do ambiente de cultivo na qualidade da madeira de três clones de eucalipto plantados em cinco regiões diferentes do Brasil, com intuito de realizar uma análise comparativa entre os sítios de plantio e o seu impacto na qualidade da madeira.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para execução desse projeto foram utilizadas madeiras de três clones do gênero *Eucalyptus* denominados: C1 (*E. urophylla* x *sp*), C2(*E. urophylla* x *E. grandis*) e C3 (*E. grandis* x *E. urophylla*). Esses clones foram advindos de plantios experimentais pertencentes ao Projeto de pesquisa Tolerância de Eucalyptus Clonais aos Estresses Hídricos, Térmicos e Bióticos (TECHS), desenvolvido por empresas do Setor Florestal nacional. Os clones foram oriundos de cinco regiões do Brasil, a saber: Bocaiúva – MG; Belo Oriente – MG; Guanhães – MG; Três Lagoas – MS e Telêmaco Borba – PR. Um mapa indicando as posições e as localizações é apresentado na Figura 1. As coordenadas geográficas e as condições edafoclimáticas das cinco regiões são apresentadas na Tabela 1. Os clones foram coletados de plantios experimentais do projeto TECHS, e que receberam as mesmas condições de manejo, até a sua coleta aos 6 anos de implantação. Em cada região foram amostradas três árvores por clone, totalizando em 45 amostras. Em cada árvore foram coletados toretes de um metro (1 m) ao longo da altura comercial. Para cada clone avaliado em cada sítio, as três árvores amostras foram transformadas em cavacos e homogeneizadas segundo a norma SCAN 40:94.

Figura 1: Mapa representativo das regiões de coleta das amostras dos três clones de eucalipto.



Fonte: a autora

Tabela 1: Localização geográfica e condições edafoclimáticas dos cinco sítios experimentais, clima segundo a classificação de Köppen.

	Cidade	Estado	Tipo	Lat., °	Log.°	Alt., m	Clima
1	Bocaiúva	MG	Tropical	-17,3	-43,8	848	Cwa
2	Belo Oriente	MG	Tropical	-19,3	-42,4	243	Aw
3	Guanhães	MG	Tropical	-18,6	-42,9	873	Cwb
4	Três Lagoas	MS	Tropical	-20,9	-51,9	361	Aw
5	Telêmaco Borba	PR	Tropical	-24,2	-50,5	888	Cfb

Cwa: clima temperado úmido (inverno seco e verão quente); Aw: clima tropical (inverno seco); Cwb: clima temperado úmido (inverno seco e verão temperado); Cfb: Clima temperado úmido (verão temperado, sem estação seca definida).

Fonte: IPEF, 2019

2.1.Caracterização química

Para realização das análises químicas foi necessário obter as amostras em serragens. Os toretes coletados foram transformados em cavacos e uma fração dos cavacos de madeira, foi transformada em serragem, e foi realizada a classificação de acordo com o procedimento padrão TAPPI T257-cm85, seca a 10% de umidade e armazenada em frascos de vidro hermeticamente fechados.

Os teores absolutamente secos (Teor AS) das amostras foram determinados segundo a norma TAPPI 264 om-88, para saber com precisão qual a quantidade de massa seca presente em uma determinada porção de serragem. As análises químicas efetuadas com as respectivas normas de procedimento estão expostas na Tabela 2, a seguir.

Tabela 2: Parâmetros analíticos e suas normas

Parâmetros	Procedimentos
Carboidratos	SCAN – CM 71:09
Extrativos totais	T 204 cm-97
Lignina solúvel	T UM 250
Lignina insolúvel	T 222 om-98
Ácidos Urônicos	SCOOT (1979)
Relação Siringil/Guaiacil da lignina	Lin & Dence (1992)
Inorgânicos	T211 OM-93
Cinzas	AFQ 007 / T211 OM-93

Fonte: a autora

Os dados encontrados para a caracterização química foram submetidos a análises de variância (ANOVA), para verificação das diferenças existentes entre as regiões avaliadas, separadamente para cada clone. Quando estabelecidas diferenças significativas entre elas, aplicou-se o teste Tukey em nível de 95% de significância, utilizando o software STATISTICA 8.0.

2.2.Caracterização térmica

A análise de poder calorífico foi realizada de acordo com o procedimento a norma T 684 om-87. Para análise foi utilizada fração madeira que passou pela peneira com malha de 40 *mesh* e ficou retida na peneira com malha de 60 *mesh* (ASTM, 1982). As amostras foram secas em estufa a $103\pm 2^{\circ}\text{C}$, até massa constante.

Para a análise termogravimétrica foi utilizado o analisador termogravimétrico (modelo 60, Shimadzu, Japão). As amostras utilizadas para análise de TGA, de fração madeira semelhante a utilizada pela análise de poder calorífico, foram de $4,0\pm 0,5$ mg e analisadas sob atmosfera inerte (nitrogênio) com um fluxo de 50 ml/min, numa faixa de temperaturas desde o ambiente até 600°C , com taxa de aquecimento de $100^{\circ}\text{C}/\text{minuto}$. Foram empregados cadinhos de alumina. A curva de TGA foi obtida para avaliar a perda de massa em função da temperatura e a curva da derivada primeira da perda de massa (DTG).

2.3.Correlação ambiente x caracterização química

Para determinação das correlações existentes entre a caracterização química com os dados meteorológicas e produtividade florestal, foi empregado o coeficiente de Pearson, considerando-se o nível 95% de significância. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa STATISTICA 8.0. Os dados meteorológicas e de produtividade das cinco regiões estudadas estão expressas nas Tabelas 3 e 4, respectivamente.

Tabela 3: Dados meteorológicas de cinco regiões do Brasil (2012 - 2018).

Região	Precipitação (mm)	Déficit hídrico (mm)	Temperatura média ($^{\circ}\text{C}$)	Umidade relativa (%)
Bocaiuva - MG	753	521	23,0	63
Belo Oriente - MG	1029	381	23,3	76
Guanhães - MG	964	249	20,7	75
Três Lagoas - MS	1231	265	24,1	73
Telêmaco Borba - MG	1551	23	19,1	80

Fonte: IPEF, 2019

Tabela 4: Produtividade dos clones C1, C2 e C3 nas cinco regiões do Brasil.

Região	IMA ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$)		
	C1	C2	C3
Bocaiuva - MG	36	28	26
Belo Oriente - MG	51	41	41
Guanhães - MG	55	53	39
Três Lagoas - MS	60	56	50
Telêmaco Borba - MG	70	94	94

Fonte: IPEF, 2019

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização química

A madeira é composta basicamente pelas macromoléculas de celulose, hemiceluloses e lignina, em menor proporção por substâncias orgânicas (extrativos) e inorgânicas (cinzas e minerais). A composição química do material exerce grande influência no processo de beneficiamento da madeira (ZANUNCIO et al., 2013). Como por exemplo para produção de polpa celulósica, se torna importante devido a correlação dos constituintes químicos com o consumo de reagentes e rendimento final da linha de fibras (SANTOS, 2000).

A variação dos teores de carboidratos presentes na madeira é importante do ponto de vista de seleção do material, uma vez que o teor desses compostos influencia na produção de polpa celulósica, sendo desejável obter um balanço ideal para favorecer o rendimento e as propriedades de refino da polpa. A constituição da fração de carboidratos das madeiras estudadas está apresentada na Tabela 5.

Tabela 5: Carboidratos, na forma anidra, presentes na madeira de três clones/região de eucaliptos.

Clone	Região	Açúcares forma anidra, %									
		Arabinanas		Galactanas		Glicanas		Xilanas		Mananas	
C1	1	0,30	± 0,00	0,93	±0,06	42,03	±0,15	12,75	±0,18	0,63	±0,06
	2	0,30	± 0,00	1,03	±0,06	44,72	±0,54	11,82	±0,30	0,67	±0,06
	3	0,25	± 0,00	1,20	±0,06	45,60	±0,45	11,35	±0,22	0,53	±0,00
	4	0,20	± 0,00	1,02	±0,02	47,18	±0,96	11,60	±0,35	0,67	±0,06
	5	0,20	± 0,00	0,93	±0,12	45,53	±0,34	10,58	±0,12	0,53	±0,06
C2	1	0,30	± 0,00	1,47	±0,11	44,65	±0,21	11,30	±0,14	0,63	±0,06
	2	0,30	± 0,00	1,73	±0,10	46,38	±0,63	10,02	±0,05	0,57	±0,06
	3	0,27	± 0,00	1,33	±0,11	47,62	±0,37	10,77	±0,27	0,60	±0,10
	4	0,20	± 0,00	1,53	±0,06	48,32	±0,30	10,42	±0,42	0,67	±0,06
	5	0,20	± 0,00	1,02	±0,10	48,48	±0,20	9,85	±0,33	0,58	±0,11
C3	1	0,30	± 0,00	1,07	±0,06	44,55	±0,84	12,90	±0,35	0,40	±0,11
	2	0,30	± 0,00	1,37	±0,06	45,58	±0,24	10,97	±0,13	0,37	±0,03
	3	0,27	± 0,00	1,17	±0,15	48,75	±0,35	11,87	±0,72	0,37	±0,15
	4	0,20	± 0,00	1,27	±0,10	49,28	±0,35	11,00	±0,62	0,38	±0,03
	5	0,20	± 0,00	1,18	±0,02	48,42	±0,27	9,55	±0,10	0,37	±0,11

(1: Bocaiúva – MG; 2: Belo Oriente – MG; 3: Guanhães – MG; 4: Três Lagoas – MS e 5: Telêmaco Borba – PR)

Fonte: a autora

O teor de glicanas está diretamente correlacionado ao teor de celulose nas madeiras, uma vez que a celulose é um polímero de cadeia linear constituído exclusivamente de unidades de β -D-anidroglicopirranose unidas por ligações do tipo éter (1-4) (COLODETTE & GOMES, 2015), contudo não se pode levar em consideração que em totalidade o teor de glicanas será igual ao teor de celulose, uma vez que também existem glicoses nas moléculas de hemiceluloses, como por exemplo na de glicomananas, em que para cada molécula de manana tem uma de glicana, quando se analisa espécies de eucalipto (SJÖSTRÖM, 1999). Os teores de glicanas variaram na faixa de 41,4% a 48,9% da

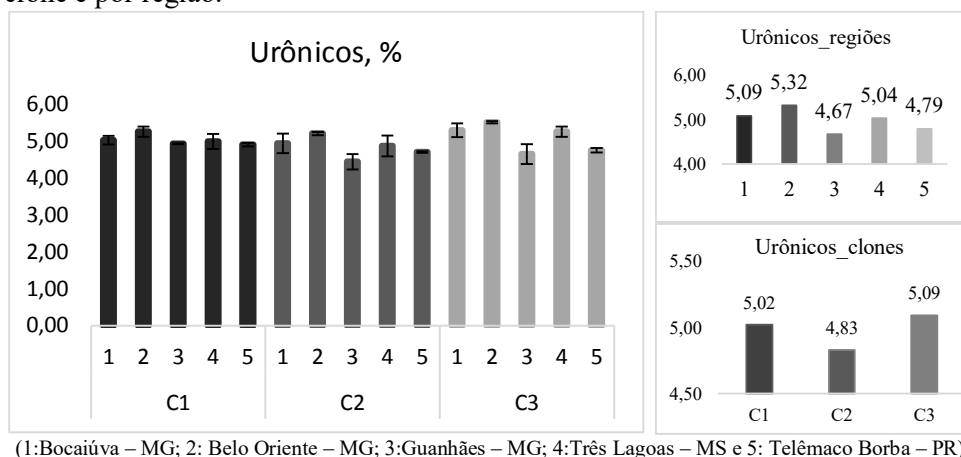
constituição química das madeiras, nota-se que o clone C1 foi aquele que em geral apresenta menor teor de glicanas em relação aos demais, e os clones C2 e C3 apresentam teores superiores, próximos. Ao analisar as regiões é possível inferir que nos três clones ocorre a mesma tendência para o teor de glicanas, em que as regiões que proporcionaram melhores condições de desenvolvimento para a árvore foram aquelas que apresentaram maior teor de glicanas, apresentam maior taxa de metabolismo, produzindo maior quantidade de glicose. Já as regiões com condições consideradas como mais críticas, Bocaíuva e Belo Oriente, apresentaram menores teores de glicanas.

As hemiceluloses são grupos distintos de polissacarídeos, constituídos por açúcares pentoses (xilose e arabinose) e hexoses (glucose, manose e galactose), mais grupos laterais, os ácidos urônicos e grupos acetila (FENGEL; WEGENER, 1984). A principal hemicelulose presente nas madeiras de eucalipto é o acetato de 4-o-metilglicuronoxilanas, comumente denominadas de xilana, sendo assim a xilana é o açúcar, depois da glicose, que encontrar-se presente em maior quantidade, logo é o segundo açúcar com maior teor, variando de 9,5 a 12,9%. Os teores das outras hemiceluloses foram todos inferiores a 1% nos três clones em todas as regiões, com exceção do teor de galactanas, em que nos três clones para as cinco regiões o valor variou de 0,93 a 1,73%, sendo as regiões de Bocaíuva e Telêmaco Borba, as que apresentaram menor teor. Barbosa (2014) em seu estudo encontrou teores de galactanas superiores a 1% trabalhando com espécies de eucalipto semelhantes as desse trabalho. O teor mais elevado de galactana constitui uma característica desvantajosa, uma vez que as galactanas são facilmente degradadas na polpação, prejudicando o rendimento do processo (ALVES, et al., 2011).

O acetato de 4-o-metilglicuronoxilanas, principal hemicelulose dos eucaliptos é constituído por uma cadeia de xiloses ramificada com grupamentos laterais, sendo o principal desses grupamentos os ácidos urônicos, que aparecem como 4-O-metilglucurônicos. Tal grupamento na polpação kraft é convertido sofre uma reação de desmetoxilação, e é convertido em ácido hexenurônico (HexA), sendo também fonte de metanol no sistema de polpação (COLODETTE & GOMES, 2015). Entender o perfil de formação de HexA é relevante para avaliar a performance da linha de fibras, pois o HexA não reage em meio alcalino, afetando negativamente o desempenho da deslignificação com oxigênio (Pré-O₂), quando está é analisada somente em função do número kappa de entrada e saída (DAHLMAN et al., 1996), ou aumentando o consumo de reagentes eletrolíticos no branqueamento (COLODETTE & GOMES, 2015).

O teor de ácidos urônicos, apresentado na Figura 2, variou de 4,44 a 5,51%, os clones seguiram uma mesma tendência entre as regiões, em que a região de Guanhães apresentou menor teor de urônicos e a região de Belo Oriente maior teor. As regiões para os três clones não apresentaram diferenças significativas a nível de significância de 95%. Em geral o clone C3 apresentou maior teor de urônicos, 5,09%, seguido do clone C1, 5,02%, e o clone C2 com média de 4,83% apresentando menor teor do composto. Morais (2008) estudando clones de eucaliptos encontrou variação de 4,35 a 5,93%, resultado próximo do encontrado nesse estudo.

Figura 2: Teor de ácidos urônicos de três clones/regiões avaliados e média por clone e por região.

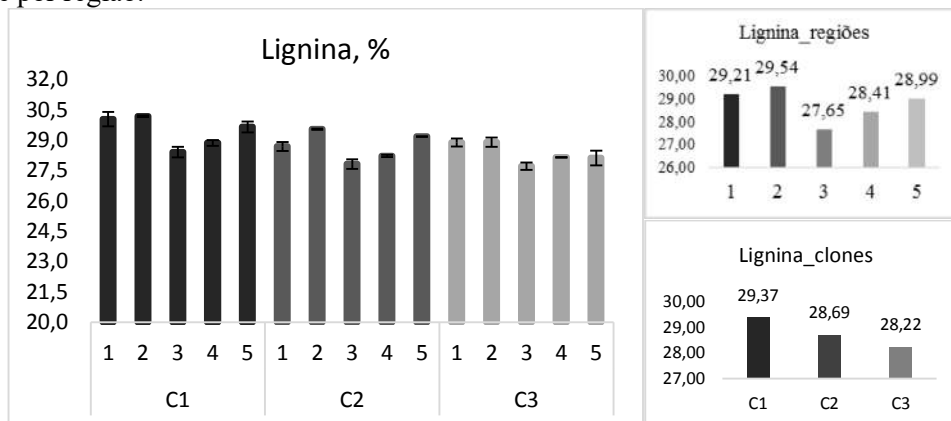


Fonte: a autora

Depois da celulose, a lignina é a substância orgânica polimérica mais abundante nas plantas. A lignina tem como função conferir rigidez a parede celular, e também funciona como agente de ligação entre elas, tornando a madeira mais resistente (GOMIDE, 1979). Na indústria de celulose o teor de lignina afeta os processos de polpação e branqueamento, onde quanto maior o seu teor, maior os gastos com reagentes no processo e devido a um ataque químico mais forte, ocorre a redução do rendimento (ASSIS, 1996).

O teor de lignina total é a soma dos teores de lignina insolúvel e solúvel em ácido. Os clones de *Eucalyptus* estudados neste trabalho apresentaram teores de lignina variando de 27,1 a 30,2% (Figura 3). Não foi encontrada estatisticamente diferenças significativas entre as regiões dentro de um mesmo clone. A média entre as regiões variam de 27,7 a 29,5%, sendo a menor porcentagem encontrada na região de Guanhanes e as maiores porcentagens nas regiões de Bocaiúva e Belo Oriente. De maneira geral o clone C3 apresentou menor teor de lignina em todas as regiões, apresentando média geral de 28,22%, seguida do clone C2 (28,69%) e o clone C1 com maior média de 29,37%. Gomide et al. (2005), Sá (2014) e Gomes et al. (2015) encontram variação para lignina total para clones de eucaliptos semelhante à desse estudo.

Figura 3: Teor de lignina total de três clones/regiões avaliados e média por clone e por região.

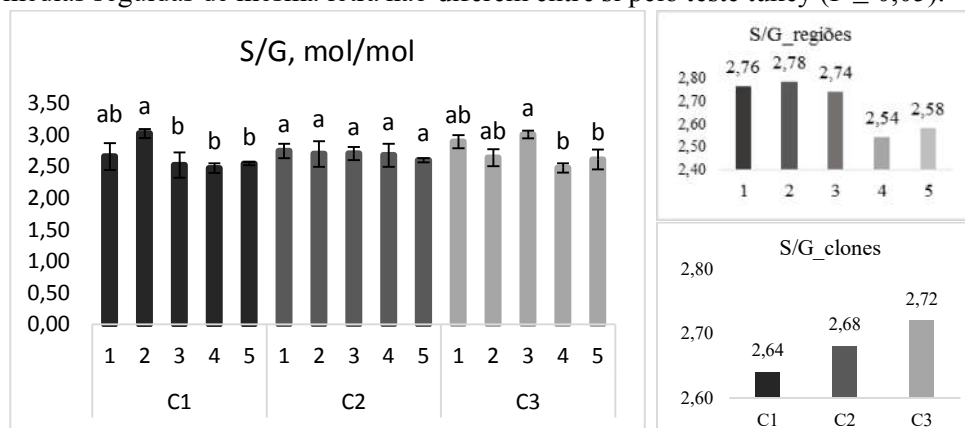


(1:Bocaiúva – MG; 2: Belo Oriente – MG; 3:Guanhães – MG; 4:Três Lagoas – MS e 5: Telêmaco Borba – PR)

Fonte: a autora

A lignina das madeiras de *Eucalyptus* são compostas por dois tipos de monômeros principais, denominados de siringila (S) e guaiacila (G). A lignina siringila se caracteriza por possuir os carbonos C3 e C5 do anel aromático indisponíveis, por apresentarem grupos metoxílicos ligados aos mesmos (COLODETTE et al.2015). Dessa forma tende a apresentar estruturas menos condensada, sendo considerada uma lignina mais reativa, e por isso, mais favorável à deslignificação (GOMIDE et al., 2005). Deste modo o conhecimento da relação S/G da lignina se torna importante na etapa de polpação kraft. Os resultados da relação S/G da lignina dos três clones de eucalipto nas cinco regiões estão apresentados na Figura 4.

Figura 4: Relação S/G de três clones/regiões avaliados e média por clone e por região. Estatística de comparação de médias realizada em cada clone, onde médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste tukey ($P \leq 0,05$).



(1:Bocaiúva – MG; 2: Belo Oriente – MG; 3:Guanhães – MG; 4:Três Lagoas – MS e 5: Telêmaco Borba – PR)

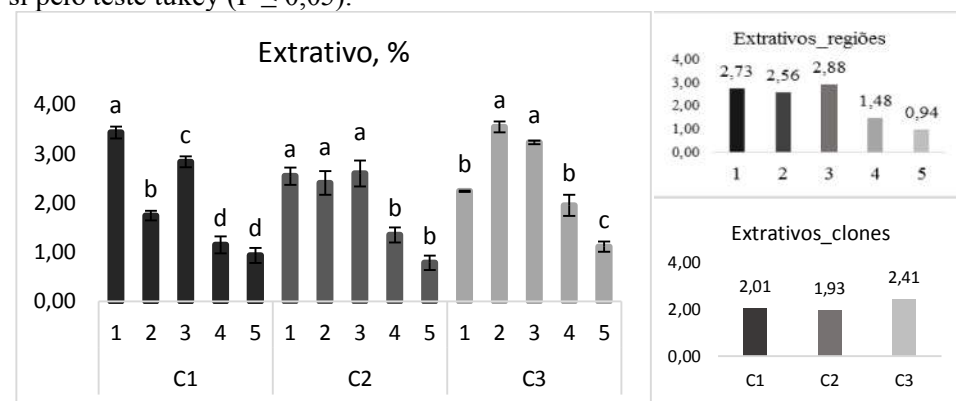
Fonte: a autora

A relação S/G da lignina variou de 2,47 a 3,02 mol/mol, onde em geral as maiores médias foram encontradas no clone C3 (2,72) e as menores para o clone C1 (2,64). A relação S/G apresentou estatisticamente pouca diferença entre as regiões, sendo que o clone C2 não apresentou diferença significativa entre as regiões. Já os clones C1 e C3 apresentaram efeito do sítio na relação S/G da lignina. De forma geral analisando-se juntamente os três clones, a região de Três Lagoas e Telêmaco Borba

apresentaram a menor relação S/G da lignina e as regiões de Bocaiúva, Belo Oriente e Guanhães as maiores relações. Os resultados encontrados neste trabalho estão de acordo com os encontrados na literatura, em que Soares (2011) avaliando híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em plantio comercial encontrou relação S/G variando de 2,3 a 3,5, Pereira et al. (2013) estudando híbridos de *Eucalyptus urophylla* provenientes de teste clonal encontrou variação de 2,33 a 2,95, de relação S/G.

Quanto aos teores de extrativos da madeira, sabe-se que estes exercem impactos negativos no processamento da madeira para a produção de polpa celulósica, devido a incrustações em equipamentos e tubulações, reações de saponificações que geram espumas nos sistemas dificultando a operações de lavagem, por exemplo (SILVÉRIO et al, 2006). Neste estudo para análise dos teores de extrativos utilizou-se a acetona, que consegue remover a maior fração de compostos presentes na madeira, incluindo os lipofílicos. Os teores de extrativos solúveis em acetona variaram de 0,78 a 3,54% (Figura 5), para os três clones estudados o sítio apresentou efeito nos teores de extrativos, obtendo variações significativas a nível de significância de 95%. O clone C1 foi aquele que apresentou o maior efeito de sítio na sua composição de extrativos. Quando analisado por sítios de plantios, de maneira geral, a região de Telêmaco Borba e Três Lagoas foram as que apresentaram menor teor de extrativos, 0,94 e 1,48%, respectivamente. As demais regiões apresentaram valores próximos, sendo os maiores teores encontradas nas regiões de Guanhães e Bocaiúva (2,88 e 2,73%). Os maiores teores de extrativos foram encontrados para as regiões nas quais as árvores sofreram maior estresse hídrico, o que pode ter influenciado diretamente teor de tal composto. Alguns estudos apontam que as árvores sujeitas ao déficit hídrico podem produzir extrativos para protegê-las a seca (BOVY et al, 2010; FRANCO, 2018). Moraes (2008) em seu estudo com *Eucalyptus urograndis* constatou variação de extrativos na faixa de 0,98 a 2,58%, resultado próximo ao encontrado nesse estudo. O clone C3 apresentou maior teor de extrativo para a maioria das regiões em relação aos demais clones, o que pode ser explicado pela alta densidade recorrente desse clone.

Figura 5: Teor de extrativos de três clones/regiões avaliados e média dos teores de extrativos por clone e por região. Estatística de comparação de médias realizada em cada clone, onde médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste tukey ($P \leq 0,05$).

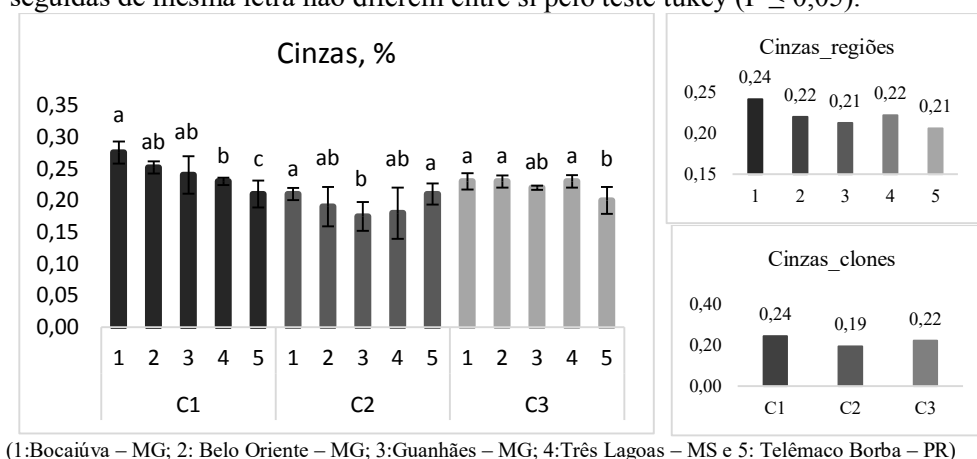


(1:Bocaiúva – MG; 2: Belo Oriente – MG; 3:Guanhães – MG; 4:Três Lagoas – MS e 5: Telêmaco Borba – PR)

Fonte: a autora

O teor de cinzas corresponde a matéria inorgânica da madeira, que pode incluir óxidos de cálcio, carbonatos, potássio, fósforo, magnésio, ferro, entre outros compostos que possuem funções associadas ao sistema fisiológico da planta (FENGEL E WENEGGER, 1989). Neste estudo o teor de cinzas, variou de 0,18 a 0,28% (Figura 6), onde os valores entre as regiões não seguiram uma mesma tendência para os três clones, Morais (2008) trabalhando com clones de eucalipto, encontrou valores de cinzas para árvores de 6 anos, próximos dos encontrados nesse trabalho. Os clones C2 e C3 apresentaram estatisticamente mesma tendência entre as regiões, onde a região de Bocaiúva apresentou maior teor de cinzas e a região de Guanhanes o menor teor. No clone C1 onde ocorreu maior diferença entre as regiões, a região de Telêmaco Borba foi a que apresentou menor teor de cinzas.

Figura 6: Teor de cinzas de três clones/regiões avaliados e média por clone e por região. Estatística de comparação de médias realizada em cada clone, onde médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste tukey ($P \leq 0,05$).



(1:Bocaiúva – MG; 2: Belo Oriente – MG; 3:Guanhanes – MG; 4:Três Lagoas – MS e 5: Telêmaco Borba – PR)

Fonte: a autora

Nesse estudo investigou-se os teores de metais de maior importância, e que são indesejáveis ao processo de polpação, por causarem corrosão, incrustações, instabilidade de alvura, por exemplo (SIQUEIRA et al, 2003). Os teores de metais avaliados neste estudo foram os de cobre (Cu), zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mn), cloro (Cl), cálcio (Ca) e boro (B), que não apresentaram uma mesma tendência entre as regiões para os três clones estudados. O valor de metais variou de 18,7 a 39,9 mg/kg, sendo para os três clones a região de Três Lagoas aquela com maior teor. Na Tabela 6 estão apresentados os teores de cada metal avaliado, é notório que os metais mais abundantes para todas as amostras são o manganês, variando entre as amostras de 7,4 a 23,1 mg/kg, e em seguida o ferro variando de 4,3 a 10,8 mg/kg, os demais se apresentaram em menor quantidade não seguindo uma tendência entre as amostras, o que é explicado pelo fato de o teor de metais ser influenciado pelo solo da região de plantio (MOKFIENSKI, 2004). Os metais, interferem negativamente na etapa de branqueamento, consumindo reagentes, sendo necessária uma etapa adicional de solubilização e remoção desses metais (COLODETTE et al, 1999). Os resultados de metais se encontraram inferiores aos estudos de MOKFIENSKI (2004).

Tabela 6: Valores médios dos metais Cobre (Cu), Boro (B), manganês (Mn), Ferro (Fe), zinco (Zn) e Cloro (Cl) de três clones/regiões.

Clone	Região	Cu	B	Mn	Fe	Zn	Cl
		mg/Kg					%
C1	1	1,79	1,41	14,10	10,30	1,07	0,08
	2	2,12	1,54	7,60	7,22	1,53	0,07
	3	2,72	1,64	18,49	10,65	2,20	0,06
	4	3,85	1,20	23,08	5,93	2,11	0,06
	5	4,59	1,38	18,93	5,72	1,29	0,09
C2	1	1,68	1,25	11,98	7,36	0,18	0,06
	2	2,39	1,78	13,12	8,79	0,77	0,05
	3	2,90	1,36	12,11	4,65	0,68	0,04
	4	3,85	1,22	24,88	9,29	0,66	0,08
	5	4,48	1,84	20,55	5,72	1,04	0,06
C3	1	1,71	1,62	12,57	7,51	1,25	0,07
	2	2,74	1,58	7,43	6,37	0,57	0,06
	3	3,34	1,04	16,49	4,29	1,97	0,04
	4	3,83	1,22	20,77	10,78	1,29	0,05
	5	4,81	1,09	17,11	8,51	1,51	0,07

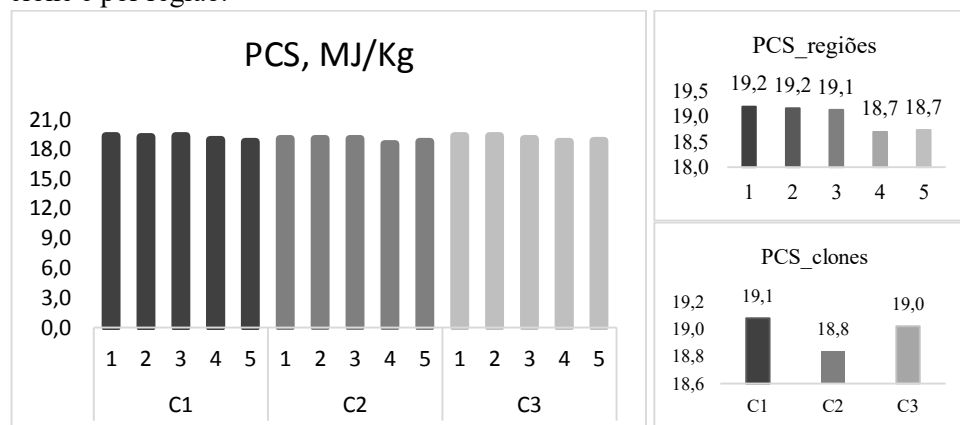
(1:Bocaiúva – MG; 2: Belo Oriente – MG; 3:Guanhães – MG; 4:Três Lagoas – MS e 5: Telêmaco Borba – PR)

Fonte: a autora

3.2.Caracterização térmica

O conhecimento das propriedades térmicas da madeira se faz importante quando o produto final é para fins energéticos, como por exemplo, carvão vegetal, briquetes e paletes, sendo estudadas análises de poder calorífico, composição química e também curvas termogravimétricas. Nesse estudo foram realizadas as análises de poder calorífico superior (PCS) e termogravimétrica (TGA e DTG), em que os resultados se encontram nas Figuras 7 e 8.

Figura 7: Valor de poder calorífico de três clones/regiões avaliados e média por clone e por região.



(1:Bocaiúva – MG; 2: Belo Oriente – MG; 3:Guanhães – MG; 4:Três Lagoas – MS e 5: Telêmaco Borba – PR)

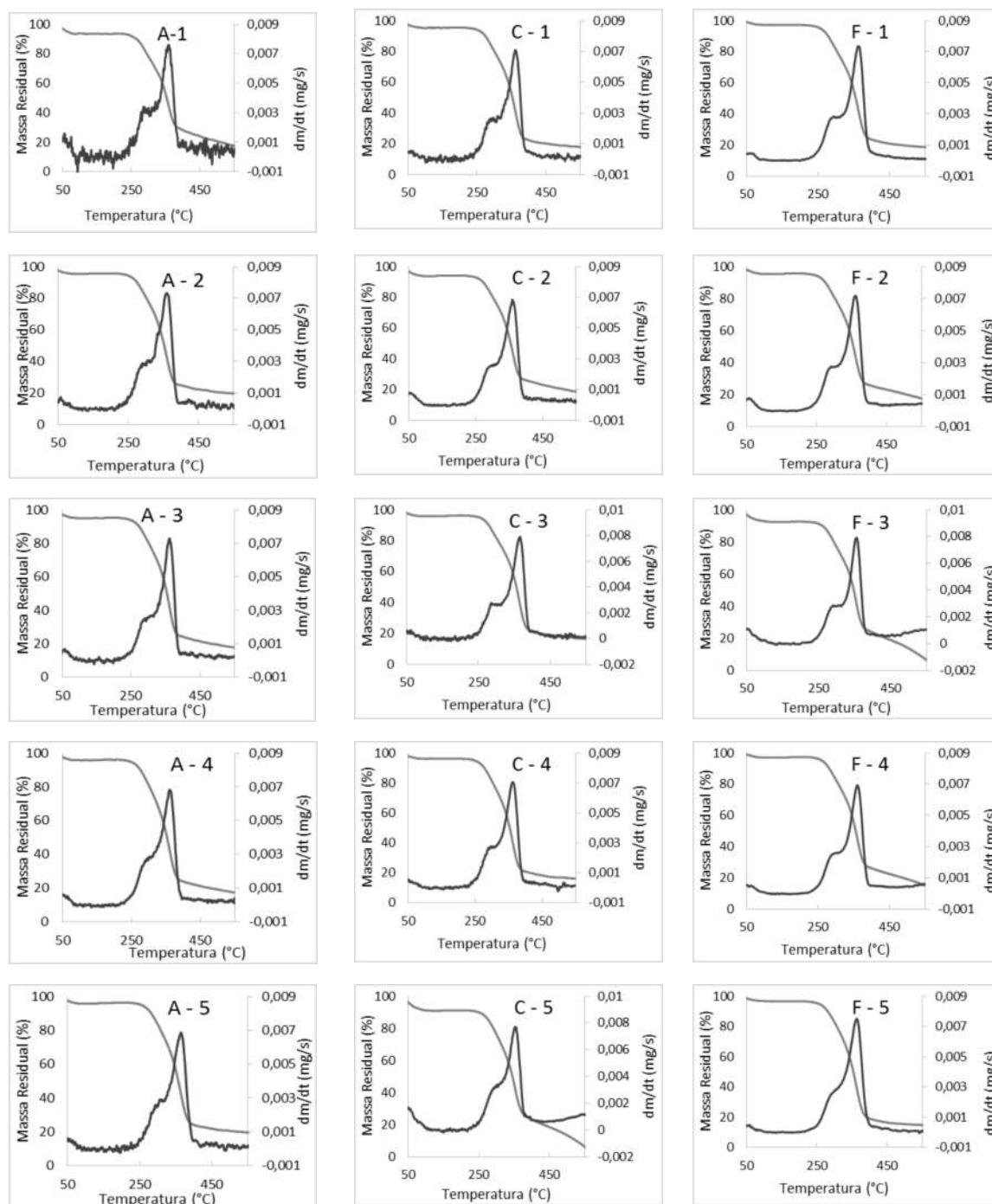
Fonte: a autora

Poder calorífico está relacionado com a quantidade de energia liberada na forma de calor pela madeira, quando esta é submetida a um processo de combustão. Apesar desse parâmetro não ser relevante para a produção de polpa celulósica no que tange a polpação diretamente, o mesmo é relevante para a planta industrial, que utiliza a madeira desclassificada durante a produção de cavacos para a queima em caldeiras auxiliares de biomassa (RIBEIRO, 2016). Estas caldeiras auxiliares são de grande relevância para o balanço energético das unidades fabris (MARTIN, 2013).

O poder calorífico da madeira pode variar de acordo com a espécie e composição química, estando relacionada diretamente aos teores de carboidratos, lignina, cinzas e extrativos da mesma. Nesse estudo, o poder calórico variou de 18,5 a 19,3 MJ/Kg, sendo os menores valores encontrados para região de Telêmaco Borba e Três Lagoas e os maiores para regiões de Bocaiuva, Belo Oriente e Guanhães. De maneira geral, o clone C2 apresentou ligeiramente menor poder calorífico, o que pode estar ligado com os teores de extrativos e cinzas, os quais esse clone também apresentou menores teores. Os resultados encontrados apresentaram valores próximos a média de 4500 Kcal/kg (18,8 MJ/kg) encontrada por TRUGILO (2012) para espécies de folhosas. Valores também dentro da faixa para espécies de eucalipto de 4312 a 5085 Kcal/kg (18 a 21 MJ/kg), foram encontrados por COUTO et al. (2008).

Na Figura 8 estão representadas as curvas termogravimétricas (TGA/DTG) da madeira, para os três clones de *Eucalyptus* advindos de cinco regiões, a partir da curva intermediária na faixa de 50 a 600°C. As curvas de TGA representam a variação da perda de massa em função da temperatura, permitindo acompanhar o processo de degradação do material, obtendo o ponto inicial e mais acentuado do processo de degradação. Já as curvas de DTG, que representa a termogravimetria derivada, representa a derivada da perda de massa em relação ao tempo (dm/dt), registrada com o aumento da temperatura, apresentando picos de degradação, que podem ser correlacionados aos constituintes (celulose, hemiceluloses e lignina) da madeira (SANTOS et al., 2012).

Figura 8: Termogramas obtidos por TGA e curvas de DTG do clone C1 – A; clone C2 – C; e clone C3 – F, em cinco regiões diferentes (1- Bocaiúva; 2- Belo oriente; 3- Guanhães; 4- Três Lagoas e 5- Telêmaco Borba).



Fonte: a autora

Nos termogramas apresentados observa-se que a perda de massa, refletida pela degradação térmica das madeiras, ocorreram de forma similar. A maior perda de massa ocorreu na faixa de 250 a 380°C, nota-se que existe dois picos de perda de massa, sendo o primeiro pico, o mais baixo, corresponde a degradação das hemiceluloses e parte amorfa da celulose, a degradação de hemiceluloses ocorre a partir de 200°C (CONESA, 1995). O segundo pico, mais alto, corresponde a degradação de

celulose, que ocorre entre 240 e 350°C, a degradação da lignina ocorre entre 350 a 500°C (CONESA, 1995). A lignina por apresentar uma ampla faixa de degradação não apresenta um pico correspondente, e ainda apenas uma pequena fração se decompõe em temperaturas inferiores a 450°C (MULLER-HAGEDORN et al., 2003 e YANG et al., 2007). Esse resultado era esperado por se tratar de clones previamente selecionados para a produção de celulose, no qual a composição química, apesar de mostrar diferenças para alguns de seus compostos, e que pode afetar a conversão da madeira em polpa celulósica, não é suficiente para modificar o comportamento termogravimétrico das mesmas. Com os resultados encontrados nas análises termogravimétrica, podem indicar pouca variação na constituição de polissacarídeos e lignina das amostras para esta propriedade.

3.3. Correlação ambiente x caracterização química

As correlações entre as características químicas com as variáveis meteorológicas e de produtividade estão apresentadas na Tabela 7. Os teores de celulose e hemiceluloses apresentaram correlação significativa com todas as características do ambiente, em exceção da temperatura média que não apresentou correlação significativa com a celulose. As hemiceluloses foram os constituintes químicos da madeira que apresentaram maiores correlação com as características do ambiente, o que indica que é um composto que sofre influência do ambiente de cultivo. O teor de celulose apresentou correlação negativa com o déficit hídrico, logo ambientes que apresentam deficiência em oferta de água para a planta geram árvores com menores teores de celulose.

Foi possível observar que a lignina não apresentou correlação significativa com nenhuma variável do ambiente, como também discutido anteriormente no tópico 3.1 desse trabalho. A lignina não apresentou diferença significativa nos seus teores entre as regiões, portanto, demonstra que o sítio não apresentou efeito nessa variável. Tolfo et al., (2005) relata alta herdabilidade do teor lignina na madeira de clones de Eucalyptus, o que reflete baixo controle ambiental da característica. Estas estimativas de herdabilidade indicam predominância dos efeitos genéticos no controle das principais características de qualidade da madeira. Porém, a relação S/G da lignina, apresentou correlações significativas, com a precipitação, déficit hídrico e produtividade do ambiente. De acordo com Colodette et al. (2005) a relação S/G da lignina demonstrou mais influência na produção de celulose do que o conteúdo de lignina. Contudo, se sabe que os fatores desejados, em termos de qualidade de madeira, seriam baixo teor de lignina e alta relação S/G dessa lignina. Segundo Kitayama et al. (2004) a estrutura da lignina responde a efeitos bióticos e abióticos do ambiente.

Já os teores de extrativos apresentaram correlações negativas significativas com a precipitação e a produtividade florestal, e correlação positiva com o déficit hídrico. As regiões que proporcionam as árvores maiores estresses, sejam eles hídricos, térmico, nutricional, vão proporcionar um crescimento lento nas árvores, o que favorece a produção de extrativos (FRANCO, 2014). Castro (2014) avaliando árvores a condições de exclusão de chuvas, constatou que uma maior condição de estresse na planta,

provoca maior produção de extrativos para suportar a condição de água limitada. O que está de concordância com as correlações encontradas para teores de extrativo nesse estudo.

Quanto aos minerais e as interações com o ambiente, tem sido observado que as árvores dispõem de vários mecanismos que reduzem a perda de água em situações de déficit hídrico. Um dos mecanismos é o uso de solutos, esses que são íons inorgânicos (principalmente o K^+), para minimizar os efeitos de escassez de água (FRANCO, 2014; CHRISTINA et al., 2015; LEGOAS, 2015), tal mecanismo pode explicar as correlações significativas encontradas entre as cinzas com os parâmetros meteorológicos de precipitação e déficit hídrico (Tabela 7).

Tabela 7: correlação ambiente x caracterização química de três clones de *Eucalyptus*

Variáveis	Precipitação	Déficit hídrico	Tmed	IMA
Celulose	0,58*	-0,64*	-0,23	0,42*
Hemicelulosos	-0,83*	0,81*	0,55*	-0,76*
Extrativo	-0,79*	0,65*	0,27	-0,73*
Lignina	0,00	0,19	0,15	-0,02
S/G	-0,40*	0,34*	0,07	-0,37*
Cinzas	-0,39*	0,56*	0,34*	-0,34*
Metais	0,47*	-0,42*	-0,01	0,42*

*correlação significativa a nível de 95% de significância.

Fonte: a autora

4. CONCLUSÕES

O sítio de plantio apresentou efeito significativos nas características químicas de teor de carboidratos, teor de extrativos, relaçãoiringil/guaiacil da lignina e minerais da madeira para os três clones de *Eucalyptus* avaliados. Contudo não apresentou efeito nos teores de lignina e ácidos urônicos. Ainda quanto a qualidade da madeira, o sítio não apresentou efeito significativo na propriedade térmica de poder calorífico superior e na degradação térmica da madeira dos três clones de *Eucalyptus*.

As características meteorológicas e de produtividade das regiões estudadas apresentaram correlação significativa com os teores de extrativos, inorgânicos e com a relaçãoiringil/guaiacil da lignina, obtendo correlação de maior magnitude com os teores de extrativos. Com os teores de lignina não existiu correlação significativa, corroborando com a tese de que essa característica apresenta maior grau de herdabilidade.

CAPÍTULO 2

EFEITO DO SÍTIO NA PRODUÇÃO DE CELULOSE BRANQUEADA DE CLONES DE EUCALIPTO

RESUMO - O Brasil é o segundo maior produtor mundial de celulose, e o maior produtor de polpa celulósica branqueada de eucalipto. Para atender a demanda de madeira das fábricas de celulose, as indústrias estão investindo em melhoramento genético, para produzir matéria-prima homogênea advindas de diferentes sítios de plantios. Neste sentido, este trabalho visa avaliar o efeito do sítio na produção de polpa celulósica branqueada a partir de três clones de eucalipto. A qualidade da produção foi feita avaliando-se parâmetros de incremento médio anual (IMA), densidade, polpabilidade e branqueabilidade. Também avaliou-se a qualidade da polpa quanto as características físico-mecânicas e morfológicas. Foram avaliados três clones de eucalipto plantados em cinco diferentes sítios, provenientes de experimentos. Dentro de cada sítio foram selecionadas três árvores de cada clone totalizando em 45 amostras, destas foram coletados toretes de um metro. Após coleta e descascamento dos toretes, estes foram processados em cavacos, uma pequena parte desses cavacos foram avaliados quanto a picagem e o restante passou por seleção manual para prosseguir com análise de densidade básica da madeira, foram realizados cozimentos kraft, utilizando-se diferentes cargas de álcali afim de se obter polpas com número kappa 17 ± 1 . E após realizado a etapa de branqueamento (OD*(EP)D). As polpas branqueadas foram avaliadas quanto suas propriedades físico-mecânicas e morfologia. Além disso foram feitos os cálculos de IMAcel e Consumo específico de madeira e análise de correlação entre as características do ambiente e os parâmetros da qualidade de produção de celulose. A densidade das amostras apresentou pouca variação entre as regiões, apresentando variação entre os clones, sendo o clone C3 aquele com maior densidade, o C1 o de menor densidade e o C2 densidade média entre os dois. No processo de polpação houve variação da demanda de álcali efetivo entre as regiões para obter kappa 17, em que as regiões de Telêmaco Borba e Três Lagoas demandaram menor teor de álcali e a região de Bocaiúva maior teor, o que teve efeito no rendimento total e viscosidade. Na etapa de branqueamento as regiões que apresentaram maior facilidade de deslignificação na polpação também foram aquelas que apresentaram maior facilidade de deslignificação na sequência de branqueamento empregada OD*(EP)D. As polpas branqueadas produzidas apresentaram em geral uma mesma tendência de resultado entre as regiões nos testes de propriedades físico-mecânicas avaliados, apresentando na maioria das vezes destaques positivos das regiões de Telêmaco Borba e Três Lagoas. As características do ambiente apresentaram correlações significativas com a demanda de álcali, rendimento e viscosidade das amostras. Não apresentando correlação com a densidade das madeiras, sendo a densidade correlacionada positivamente com os teores de extrativos das amostras. Os indicadores de produção cálculos apresentaram grande influência dos rendimentos de produção de celulose e do incremento médio anual de cada região, em que a região de Bocaiúva, região mais crítica

para o crescimento das árvores, apresentou menor IMAcél e maior consumo específico de madeira para produção de uma tonelada de celulose, e a região de Telêmaco Borba, região favorável ao crescimento das árvores apresentou maior IMAcél e menor consumo específico de madeira. O sítio apresentou efeito na densidade básica e no processo de produção de polpa celulósica branqueada, apresentando efeito nas suas propriedades físico-mecânicas e morfológicas. Ocorreu correlação das características meteorológicas e de produtividade do ambiente com os parâmetros de rendimento, demanda de álcali efetivo e viscosidade. O sítio apresentou efeito nos indicadores de produção IMAcél e Consumo específico, onde a produtividade florestal apresentou grande influência nos indicadores.

Palavras – chave: Produção de celulose. Rendimento. Indicador de produção.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de celulose, e o maior produtor de polpa celulósica branqueada de eucalipto (IBA, 2017; CASARIN, 2018). O principal processo de produção de celulose atualmente é o kraft, onde soluções de hidróxido de sódio e sulfeto de sódio são empregadas a elevadas temperaturas (150-170 °C). Este processo, apesar de ainda existirem possibilidades de aperfeiçoamento, já se encontra bem consolidado. Buscando-se tornar a planta industrial cada vez mais competitiva, é um consenso dos setores acadêmicos e industriais que muita atenção deve ser direcionada a madeira, que chega a compor 50-60% dos custos de produção de celulose (BIAZUS et al., 2010).

A fim de se produzir polpas celulósicas homogêneas, com alta qualidade, baixo custo e mínimo impacto ambiental, um dos maiores desafios da indústria é a seleção adequada de madeira para o seu suprimento. Essa tem sido uma preocupação permanente dos grandes fabricantes desse produto que, através de contínuos programas de melhoramento florestal, procuram expressar as características desejáveis da madeira para a produção de celulose (MOKFIENSKI, 2004).

Para suprir à quantidade de madeira necessária, houve a expansão das áreas de plantios, ocupando áreas onde os fatores de estresse são mais agressivos, e mesmo nas áreas tradicionais de plantio, os efeitos de variações de regime hídrico e térmico intra e inter-anual, devido às mudanças climáticas, tem causado alterações nas sensibilidades de clones a tais estresses. Portanto, um dos grandes desafios dos melhoristas, é garantir a produção de matéria-prima mais homogênea possível, sendo importante que os clones sofram o mínimo efeito nas suas características tecnológicas em razão do sítio utilizado. Além de aumentar a produtividade das florestas, através da seleção de indivíduos mais produtivos, visando manter a competitividade no mercado de celulose, especialmente o de polpa branqueada.

São utilizadas técnicas que permitem uma manipulação do material genético de forma a contribuir, em maior ou menor proporção, com a fixação de parâmetros que hoje são comprovadamente conhecidos pelo seu favorecimento na melhoria da qualidade da madeira para produção de celulose (GONSAGA et al., 2016). Estes parâmetros são determinados em estudos de qualidade da madeira, que abrangem a caracterização anatômicas e químicas, e as características tecnológicas da conversão da madeira em polpa celulósica (GOMIDE et al., 2005).

Uma característica física muito utilizada para determinar a qualidade da matéria-prima é a densidade básica (SILVA et al., 2009; MILAGRES et al., 2013; HAMILTON et al., 2017). Como também se faz importante, avaliar a madeira quanto a sua polpabilidade, avaliando o consumo de álcali efetivo e a qualidade da polpa (viscosidade). Ainda quanto a performance da linha de fibras é relevante avaliar o comportamento da polpa nas operações subsequentes de deslignificação com oxigênio e branqueamento, além das propriedades de resistência mecânica da mesma, que impactará na qualidade do papel a ser formado a partir dela, por exemplo. Alguns estudos indicam haver influência significativa

da qualidade da madeira na branqueabilidade da polpa (OLIVEIRA et al., 2004; SILVA, 2011; COLODETTE, 2014; CARVALHO, 2015; e JARDIM et al., 2017).

A análise conjunta dos fatores de qualidade da madeira relacionada com a performance da linha de fibras, permite um melhor planejamento dos plantios florestais necessários para o suprimento de madeira na unidade fabril. Um dos parâmetros utilizados pelo setor florestal em seu planejamento é o chamado “incremento médio anual de celulose” (IMACel), que visa mensurar a quantidade de polpa celulósica em toneladas produzida por hectare por ano (RAYMOND et al., 2010; BRAWNER et al., 2012). Outro parâmetro relevante para o planejamento industrial e fabril é o consumo específico de madeira, que relaciona o volume em metros cúbicos de madeira necessário para a produção de uma tonelada de polpa celulósica (ASSIS et al., 2016). Assim, quanto maiores os valores de IMACel e menores os valores de consumo específico de madeira, mais competitivo tende a ser processo global de produção de celulose, indo desde a floresta ao produto final acabado.

Neste sentido, este capítulo visa avaliar o efeito do sítio na produção de polpa celulósica branqueada a partir de três clones de eucalipto comerciais do Brasil. A qualidade da produção foi feita avaliando-se parâmetros de incremento médio anual (IMA), densidade, polpabilidade e branqueabilidade. Também avaliou-se a qualidade da polpa quanto as características físico-mecânicas e morfológicas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Rede experimental e material genético

Foram analisados três clones do gênero *Eucalyptus* (Tabela 1), esses advindos de plantios clonais experimentais pertencentes ao Projeto de pesquisa de Tolerância de Eucalyptus Clonais aos Estresses Hídricos, Térmicos e Bióticos (TECHS). Os clones foram oriundos de cinco sítios distintos do Brasil: Bocaiúva – MG; Belo Oriente – MG; Guanhães – MG; Três Lagoas – MS e Telêmaco Borba – PR, a localização geográfica e condições edafoclimáticas das cinco regiões estão expostas na Tabela 2. Os clones receberam as mesmas condições de manejo, até sua coleta com 6 anos de idade.

Tabela 1: Clones avaliados

Clone	Espécies (Híbrido = mãe x pai)
C1	<i>E. urophylla x sp</i>
C2	<i>E. urophylla x grandis</i>
C3	<i>E. grandis x urophylla</i>

Tabela 2: Localização geográfica e condições edafoclimáticas dos cinco sítios experimentais, clima segundo a classificação de Köppen

	Cidade	Estado	Tipo	Lat., °	Log., °	Alt., m	Clima
1	Bocaiúva	MG	Tropical	-17,3	-43,8	848	Cwa
2	Belo Oriente	MG	Tropical	-19,3	-42,4	243	Aw
3	Guanhães	MG	Tropical	-18,6	-42,9	873	Cwb
4	Três Lagoas	MS	Tropical	-20,9	-51,9	361	Aw
5	Telêmaco Borba	PR	Tropical	-24,2	-50,5	888	Cfb

Cwa: clima temperado úmido (inverno seco e verão quente); Aw: clima tropical (inverno seco); Cwb: clima temperado úmido (inverno seco e verão temperado); Cfb: Clima temperado úmido (verão temperado, sem estação seca definida).

Fonte: IPEF, 2019

2.2. Classificação da qualidade de picagem

Dentro de cada região foram selecionadas três árvores de cada clone totalizando em 45 amostras, destas foram coletados toretes de um metro (1 m). Após coleta e descascamento dos toretes, estes foram processados em cavacos. Parte desses cavacos foram avaliados quanto a qualidade de picagem em um classificador CHIP CLASS da *Testing Machines Inc.* A outra parte foi classificada manualmente para separação de finos e *oversized*. Os cavacos selecionados seguiram para realização da polpação kraft e análise de densidade.

2.3.Densidade básica

A densidade básica foi determinada por meio da relação entre o peso absolutamente seco e o volume saturado dos cavacos (Equação 1), conforme a norma ABNT: NBR 11941.

$$\text{Densidade básica} = \frac{m}{V} \quad \text{Equação 1}$$

2.4.Polpação kraft

O cozimento kraft foi realizado com 400 g a.s. de cavacos em digestor M/K *Systems inc.*, que possui dois reatores individuais com capacidade de seis litros cada, aquecido eletricamente e dotado de termômetro e manômetro. Foi variável o teor de álcali efetivo aplicado e a temperatura de cozimento, com o intuito de obter kappa $17 \pm 0,5$ e álcali efetivo residual de 5-7 g/L. Na Tabela 3 estão expostas as condições que ocorreram os cozimentos.

Tabela 3. Condições empregadas no cozimento kraft das amostras de eucalipto para atingir número kappa $17 \pm 0,5$, e álcali efetivo residual de 5 a 7 g/L.

Parâmetros	Condições
Massa de cavacos (g)	400
Relação licor:madeira (L: kg)	4 : 1
Tempo até temperatura (min)	60
Tempo a temperatura (min)	90
Temperatura máxima (°C)	164 – 167*
Sulfidez (%)	30
Álcali ativo, (%)	Variável*

* Dosagem de álcali e temperatura variável para atingir o número kappa $17 \pm 0,5$ e AER de 5-7 g/L.

Após os cozimentos, amostras dos licores negros foram coletadas para análises de pH, teor de sólidos e álcali efetivo residual. Os cavacos retirados após a polpação foram lavados com água abundante em uma tela de 150 *mesh* para retirar o licor negro residual. A individualização das fibras foi realizada em desagregador laboratorial e em seguida, a polpa foi depurada para remoção de rejeitos e desaguada em centrífuga até uma consistência de aproximadamente 30%. As análises de avaliação da polpação kraft estão descritas na Tabela 4.

Tabela 4: Parâmetros avaliativos da polpação kraft.

Parâmetros	Procedimentos
Rendimento	Metodologia LCP
Álcali efetivo residual	TAPPI T 625 cm-85
Teor de sólidos	TAPPI T 650 om 89
Número kappa	TAPPI T 236 cm-85
Viscosidade	SCAN cm - 15:99
Ácidos Hexenurônicos	TAPPI T 282 pm-07

2.5.Branqueamento

Após o cozimento kraft as polpas produzidas prosseguiram para a sequência de branqueamento O D*(EP)D, em que O (estágio de deslignificação com oxigênio), D* (deslignificação com dióxido de cloro a quente), EP (Extração Oxidativa com Peróxido de Hidrogênio) e D (dióxido de Cloro). Os estágios ocorreram nas condições estabelecidas na Tabela 5.

Tabela 5. Condições da sequência de branqueamento O D*(EP)D para atingir alvura de 90% ISO.

Condições	O	D*	(EP)	D ₁
Consistência (%)	10	10	10	10
Tempo (minutos)	60	120	60	120
Temperatura (°C)	100	95	85	85
Pressão (kPa)	400	-	-	-
H ₂ O ₂ (kg/olt)	-	-	5,0	-
O ₂ (kg/ton)	20	-	-	-
NaOH (kg/ton)	20	-	10,0	-
H ₂ SO ₄ (kg/ton)	-	8,0	-	0,8
Fator kappa	-	0,20	-	Variável
ClO ₂ (kg/ton)	-	19,3	-	1,2
pH final	-	2,8-3,5	10,0-11,0	4,0-4,5

De forma semelhante, para todas as amostras, após o término do estágio, as polpas são retiradas do banho termostático (ou reator, na Pré-O₂) e é retirada uma amostra de licor residual para medição do pH e análises de residuais. Em seguida, as amostras são lavadas, em sacos de tecido com o equivalente de 9 m³ de água destilada por tonelada de polpa absolutamente seca e lavadas manualmente simulando condições reais de processos industriais. Depois são desaguadas até consistência de aproximadamente 30%, e formadas folhas manualmente para posteriores análises (Tabela 6).

Tabela 6. Procedimentos analíticos para caracterização dos filtrados e polpas após o branqueamento.

Parâmetros	Procedimentos
Número kappa	TAPPI T 236 cm-85
Viscosidade	SCAN cm - 15:99
Alvura	TAPPI T 525 om-08
Reversão de alvura	TAPPI UM 200
Ácidos Hexenurônicos	TAPPI T 282 pm-07
Número de cor posterior	TAPPI TIS 017 - 10

Com base nos resultados do número kappa, alvura e viscosidade, a eficiência de deslignificação, seletividade, branqueabilidade e número de cor posterior foram calculados de acordo com as seguintes equações:

Eficiência de deslignificação:

$$ED = \frac{K \text{ inicial} - K \text{ final}}{K \text{ inicial}} * 100 \quad \text{Equação 2}$$

Em que:

K inicial: número kappa polpa marrom;

K final: número kappa da polpa após deslignificação com oxigênio

Seletividade

$$Seletividade = \frac{\Delta \text{ kappa}}{\Delta \text{ Viscosidade}} \quad \text{Equação 3}$$

Em que:

Δ Kappa: número kappa da polpa marrom menos o número kappa da polpa após deslignificação com oxigênio;

Δ Viscosidade: viscosidade da polpa marrom menos a viscosidade da polpa após deslignificação com oxigênio.

Cloro ativo total (kg/tsa)

$$TAC = ClO_2 * 2.63 + H_2O_2 * 2.09 \quad \text{Equação 4}$$

Em que:

ClO₂: total de dióxido de cloro consumido na sequência de branqueamento (kg/tsa);

2.63: Fator de conversão do dióxido de cloro para o equivalente em cloro ativo;

H₂O₂: total de peróxido de hidrogênio consumido na sequência de branqueamento (kg/tsa);

2.09: Fator de conversão do peróxido de hidrogênio para o equivalente em cloro ativo.

Branqueabilidade

$$\text{Branqueabilidade} = \frac{\Delta k_{\text{appa}}}{TAC} \quad \text{Equação 5}$$

Em que:

Δ Kappa: número kappa após a deslignificação com oxigênio menos o número kappa após a sequência de branqueamento;

TAC: Teor de cloro ativo total (kg/tsa).

Número de cor posterior

$$NCP = \left| \left(\frac{K}{S} \right) \text{Depois} - \left(\frac{K}{S} \right) \text{Antes} \right| * 100 \quad \text{Equação 6}$$

Em que:

$$\frac{K}{S} = \frac{(1 - R)^2}{2R}$$

NCP: número de cor posterior;

R: Alvura;

K: Coeficiente de absorção de luz; e

S: Coeficiente de dispersão de luz.

2.1. Propriedades morfológicas

Para realização das análises de morfologia foram utilizadas as amostras de polpa branqueada, obtidas após a realização da sequência de branqueamento D*(EP)D. O aparelho usado para realizar a morfologia das fibras é o *Fiber test da Lorenz e Wettre*, que trabalha com 0,2 gramas de amostras, que em suspensão, recirculam no equipamento, onde as imagens são capturadas e mensuradas os seguintes parâmetros, comprimento e largura média das fibras, número de fibras por grama, de *coarseness* e teor de finos das polpas.

É realizada a preparação da amostra para efetuar a análise, em que se procede a desagregação da polpa marrom, após é preparada uma suspensão com 0,1 g de polpa mais água destilada em um béquer, este é posicionado no carrossel e inicia-se a análise, em que o equipamento suga a amostra e análise, como citado anteriormente.

Para ser classificado como uma fibra, um objeto deve ter um comprimento que seja pelo menos

quatro vezes sua largura, e o objeto deve ter um tamanho maior que cinco pixels (um pixel é aproximadamente 10 x 10 micrometro). São considerados como finos todas as partículas menores que 0,2 mm de comprimento.

2.2. Propriedades da polpa branqueada

Completada a etapa de branqueamento as polpas seguiram para análises de refinabilidade e de propriedades físico-mecânicas da polpa. Para tais análises foi efetivado o refino e posteriormente a formação de folhas testes.

No refino utilizou-se amostras de 30g absolutamente secas de polpa. Antes de ser levado para o moinho PFI, modelo *Mark VI da Hamar Norway*, as amostras são hidratadas por quatro horas e desagregadas à 1,5% de consistência por 30000 revoluções, em desagregador laboratorial do tipo *Regmed*. Em seguida a polpa é desaguada até a consistência de 10% e distribuídas uniformemente na câmara do moinho PFI, conforme norma TAPPI 248 om-08. Para avaliação da refinabilidade das polpas branqueadas foi utilizado uma curva fixa de refino (0, 500, 1500 e 3000 revoluções do moinho PFI) e posterior determinação das propriedades físico-mecânicas das polpas resultantes para os níveis de refino aplicados.

Para os testes físico-mecânicos foi realizado a formação das folhas em formador tipo TAPPI, fabricado pela *Regmed*, com gramatura de aproximadamente 60 g/m² (TAPPI 205 sp-06). Essas serão acondicionadas em ambiente climatizado, com temperatura de 23 ±1°C e umidade relativa de 50 ±2%, até estabilização das mesmas. Após estabilização as folhas foram submetidas aos testes, os quais estão descritos com as respectivas normas de procedimento na Tabela 7.

Tabela 7. Procedimentos analíticos para caracterização das folhas testes

Teste	Normas
Espessura	TAPPI T 551 om-06
Gramatura	TAPPI T 410 om-08
Resistência ao arrebentamento	TAPPI T 403 om-02
Resistência ao rasgo (Elmendorf)	TAPPI T 414 om-04
Resistência à passagem de ar	TAPPI T 536 om-07
Resistência à tração	TAPPI T 494 om-06
Energia de deformação (TEA)	TAPPI T 494 om-06
Módulo de elasticidade (MOE)	TAPPI T 494 om-06
Volume específico aparente	TAPPI T 220 sp-06

OBS: para cada teste foi utilizado um número mínimo de 4 repetições

Os dados encontrados para a caracterização química foram submetidos a análises de variância (ANOVA), para verificação das diferenças existentes entre as regiões avaliadas, separadamente para cada clone e para cada grau de refino (0, 500, 1500 e 3000). Quando estabelecidas diferenças significativas entre elas, aplicou-se o teste Tukey em nível de 95% de significância, utilizando o software STATISTICA 8.0.

2.3. Correlação ambiente x produção celulose

Para determinação das correlações existentes entre as propriedades avaliadas com os dados meteorológicas e produtividade do ambiente, foi empregado o coeficiente de Pearson, considerando-se o nível 95% de significância. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa STATISTICA 8.0. Os dados meteorológicas e de produtividade das cinco regiões estudadas estão expressas nas tabelas 8 e 9, respectivamente.

Tabela 8: Dados meteorológicas de cinco regiões do Brasil (2012 - 2018).

Região	Precipitação (mm)	Déficit hídrico (mm)	Temperatura média (°C)	Umidade relativa (%)
Bocaiuva - MG	753	521	23,0	63
Belo Oriente - MG	1029	381	23,3	76
Guanhães - MG	964	249	20,7	75
Três Lagoas - MS	1231	265	24,1	73
Telêmaco Borba - MG	1551	23	19,1	80

Fonte: IPEF, 2019

Tabela 9: Produtividade dos clones C1, C2 e C3 nas cinco regiões do Brasil.

Região	IMA (m ³ .ha ⁻¹ .ano ⁻¹)		
	C1	C2	C3
Bocaiuva - MG	36	28	26
Belo Oriente - MG	51	41	41
Guanhães - MG	55	53	39
Três Lagoas - MS	60	56	50
Telêmaco Borba - MG	70	94	94

Fonte: IPEF, 2019

2.4. Indicadores de produção

Para avaliar o desempenho dos sítios para produção de celulose, são calculados os indicadores de produção: IMACEL (Incremento médio anual de celulose) e Consumo específico de madeira, esses que avaliam juntamente característica de produtividade do ambiente com propriedades da polpa celulósica, os cálculos foram efetuados conforme as Equações 6 e 7.

Consumo específico de madeira

$$CE = \frac{1.000 * 0,9}{Db * Rd * Rb} \quad \text{Equação 6}$$

Em que:

CE= Consumo específico de madeira, m³/tonelada de celulose;

0,9 = Fator de conversão para tonelada seca ao ar (tsa), considerando a polpa com 10% de umidade;

Db= Densidade básica da madeira, Kg/m³;

Rd= Rendimento depurado cozimento kraft, %;

Rb= Rendimento branqueamento, usualmente considerado 95%, %.

Incremento médio anual de celulose

$$IMACEL = \frac{IMA f * (1 - \% casca)}{CE} \quad \text{Equação 7}$$

Em que:

IMACEL= Incremento médio anual de celulose, ton.cel/ha/ano;

IMAf= Incremento médio anual florestal com casca, m³/ha/ano;

CE = Consumo específico de madeira

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

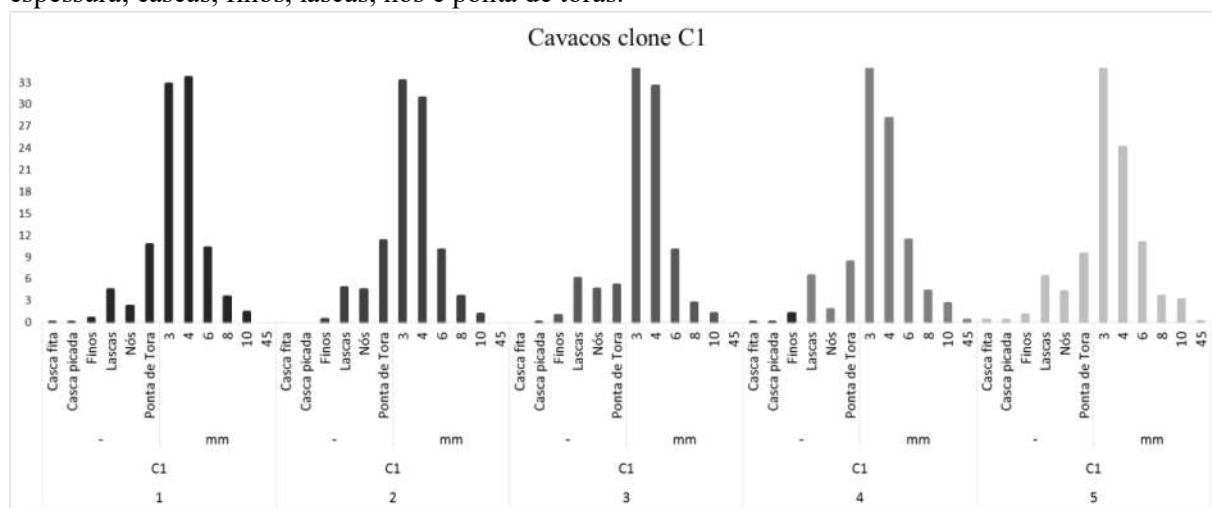
3.1. Classificação da picagem dos cavacos

Visando a transformação da madeira em polpa celulósica, uma das etapas iniciais é descascamento seguido da redução das toras em cavacos. A redução é feita com o intuito de aumentar a superfície específica da madeira com o licor de cozimento, favorecendo a impregnação, necessária para um processo de polpação uniforme. Portanto, a qualidade dos cavacos usados na produção de polpa celulósica é considerada um fator importante para operabilidade da indústria e para a qualidade da polpa.

O ideal é que exista uniformidade nas dimensões dos cavacos, para maior eficiência no cozimento. Desta forma na indústria a classificação do tamanho dos cavacos é efetuada em peneiras antes de entrarem no processo de cozimento, com objetivo de separar os cavacos muito grandes e os muito pequenos, pois dificultam a operacionalização, aumentam o teor de rejeitos e reduzem a uniformidade da polpa.

Um cavaco típico de madeira deve medir de 15-20 milímetros de comprimento na direção de grã, 12-25 milímetros de largura, e apenas 3-6 milímetros na espessura transversal a grã da madeira, assim a razão comprimento/espessura é de aproximadamente 4 para 1 (GRACE et al., 1989a). Na Figura 1 - 3, estão apresentadas a classificação dos cavacos obtidos de cada clone/região.

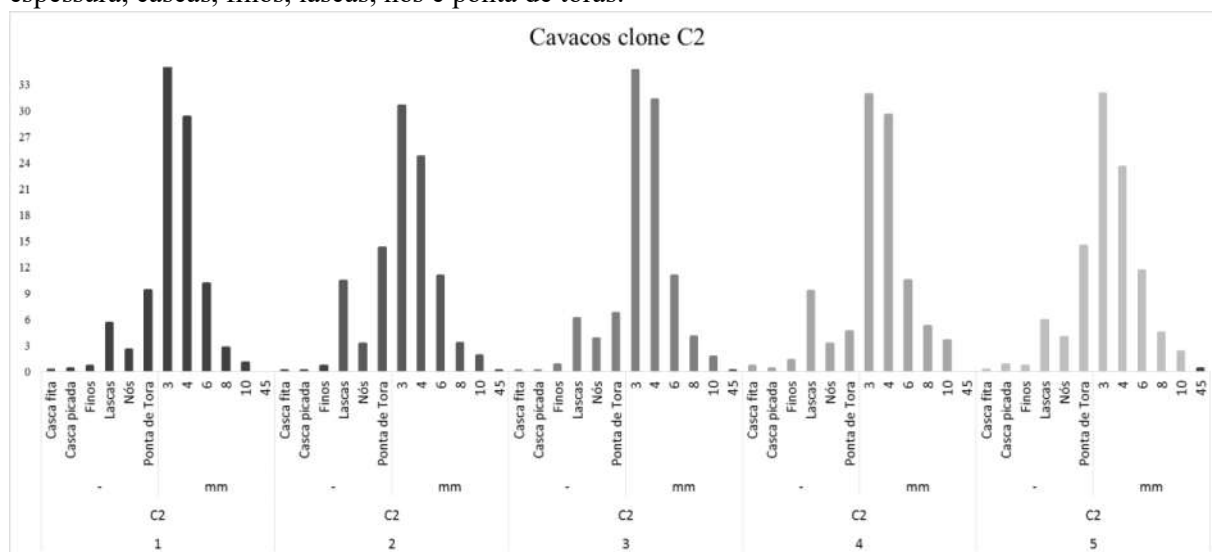
Figura 1. Média da classificação da picagem de cavacos do clone C1 em cinco regiões, em relação a espessura, cascas, finos, lascas, nós e ponta de toras.



(1: Bocaiúva – MG; 2: Belo Oriente – MG; 3: Guanahães – MG; 4: Três Lagoas – MS e 5: Telêmaco Borba – PR)

Fonte: a autora

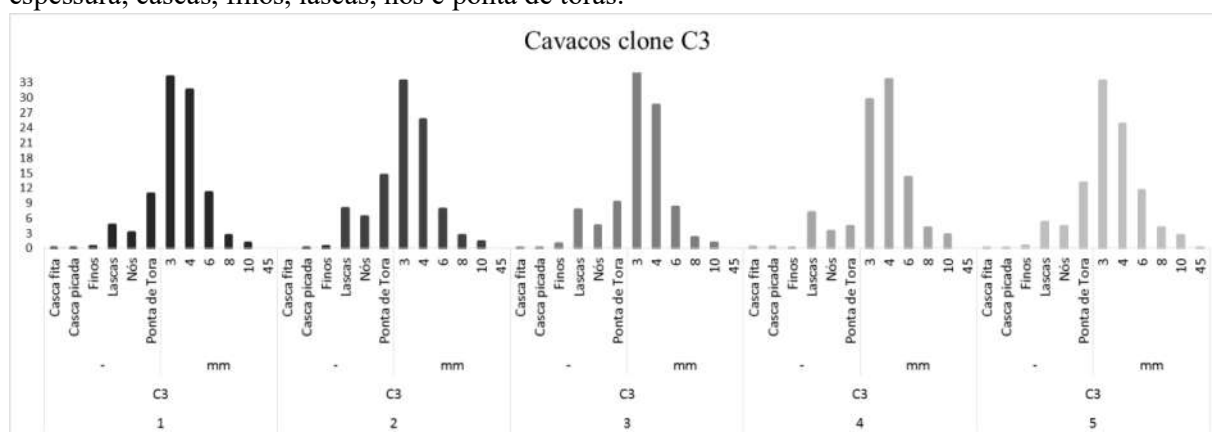
Figura 2. Média da classificação da picagem de cavacos do clone C2 em cinco regiões, em relação a espessura, cascas, finos, lascas, nós e ponta de toras.



(1:Bocaiúva – MG; 2: Belo Oriente – MG; 3:Guanhães – MG; 4:Três Lagoas – MS e 5: Telêmaco Borba – PR)

Fonte: a autora

Figura 3. Média da classificação da picagem de cavacos do clone C3 em cinco regiões, em relação a espessura, cascas, finos, lascas, nós e ponta de toras.



(1:Bocaiúva – MG; 2: Belo Oriente – MG; 3:Guanhães – MG; 4:Três Lagoas – MS e 5: Telêmaco Borba – PR)

Fonte: a autora

Os três clones apresentaram mais de 70% dos cavacos com espessura considerada de boa qualidade, que seriam os que apresentam de 3 a 6 milímetros. Sendo o clone C1 o que apresentou maior valor, 75,6%, o C3 com 73,6% e o C2 resultado mais baixo de 72,5%. Entre as regiões não ocorreu uma tendência, os valores de aceite dos cavacos de boa qualidade variou de 66,3 a 79,2%, as maiores porcentagens em geral foram encontradas para as regiões de Bocaiúva e Guanhões. Costa (2011) em seu estudo encontrou porcentagem por volta de 75% de cavacos com dimensões ideais, resultado próximo do encontrado nesse trabalho. Em condições fabris esse resultado pode chegar a aproximadamente 93% (SIXTA, 2006).

Os cavacos considerados *oversizes*, aqueles que apresentam espessura maior que a recomendada, corresponde a aproximadamente 5% da amostra, sendo o clone C3 o que apresentou

menor percentagem (4,6%) e os demais, resultado maiores de 5,5%, no clone C1 e 5,9% para o clone C2. Tais cavacos são a principal causa dos rejeitos na polpação química, devido a apresentarem dificuldade de impregnação, por isso esses são direcionados para repicagem ou para caldeira de biomassa.

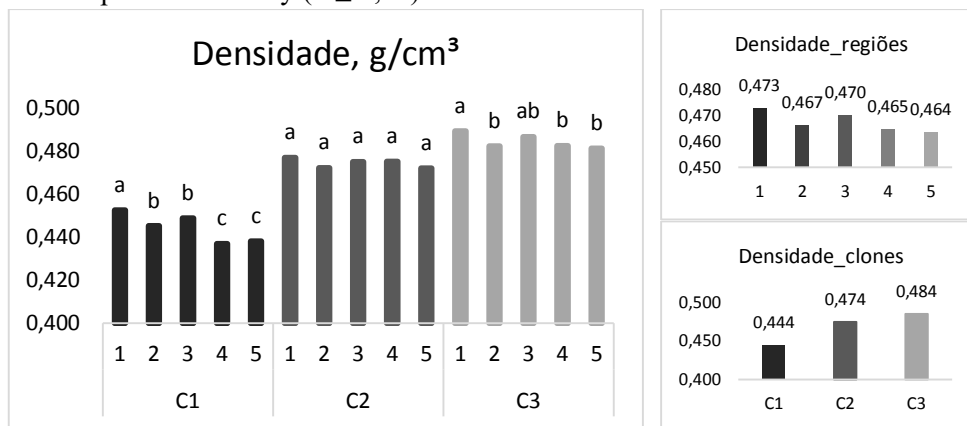
Os cavacos que apresentam dimensão inferior ao recomendado são os chamados de finos, e os valores destes representou menos de 1% da amostra para todos os clones em todas regiões. Cavacos com dimensão pequena são desfavoráveis na etapa de polpação por consumirem maior teor de álcali e sofrerem maior degradação interferindo no rendimento final (CAMARGO et al., 2015). Além de interferirem no rendimento fabril também tendem a gerar problemas operacionais, por entupimentos de peneiras em digestores (FOELKEL, 2009). Os finos juntamente com as outras classificações irregulares são direcionados para caldeira de biomassa, para a geração de energia, o que correspondeu no total, nesse estudo, aproximadamente 20% do total do volume de cavacos gerados. Tais porcentagens encontradas nesse estudo, representaram dados experimentais, em que se usou picadores laboratoriais. Estes índices em uma realidade fabril são em torno de 7%, onde se considera os *oversizes* e finos, em plantas mais modernas são em torno de 5%.

A soma das frações de cavacos não consideradas de qualidade é aproximadamente 25% da amostra para todos os clones, valor semelhante ao encontrado por Grande (2012). Valor que representa uma grande perda de matéria prima, tal valor pode estar relacionado com o mecanismo de picagem e manutenção do equipamento, como também com as variações naturais da madeira. Na indústria esta operação deveria ser rigorosamente revista em função de possíveis perdas no processo industrial de produção.

3.2.Densidade básica

A densidade básica para a indústria de celulose, é um parâmetro importante de qualidade da madeira, em que na sua avaliação adequada proporciona uma indicação do rendimento do processo de obtenção de polpa, além do comportamento de algumas propriedades da polpa resultante (QUEIROZ et al., 2004), contudo outros parâmetros da madeira, como a caracterização química, também pode afetar o rendimento. Os resultados de densidade básica dos clones em cada região, a média por clone e a média por região estão apresentadas na Figura 4.

Figura 4. Densidade básica de três clones/regiões avaliados e média das densidades básicas por clone e por região, em que médias seguidas por mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($P \leq 0,05$).



(1:Bocaiuva – MG; 2: Belo Oriente – MG; 3:Guanhães – MG; 4:Três Lagoas – MS e 5: Telêmaco Borba – PR)

Fonte: a autora

Ao analisar separadamente os três clones, o clone C1 é o que apresentou menor densidade de 0,444 g/cm³, o clone C3 a maior densidade, 0,484 g/cm³ e o clone C2 de densidade média de 0,474 g/cm³, o que já era esperado pela alta herdabilidade genética da densidade (FIGUEIREDO,2002; e BORRALHO et al., 2003). Os três apresentaram densidades esperadas para clones do gênero *Eucalyptus* destinados a indústria de celulose. Para as fabricas de celulose de fibra curta, normalmente se trabalha com espécie de densidade básica intermediarias, entre 0,46 a 0,54 g/cm³ (FOEKEL,2017).

Os valores de densidade básica obtidos apresentam a mesma tendência de resultado entre as regiões para os três clones estudados, sendo a região de Bocaiúva e Guanhanes aquelas que apresentaram maior densidade (0,473 e 0,469 g/cm³), as regiões de Três Lagoas e Telêmaco Borba as com menores valores de densidade (0,465 e 0,464 g/cm³) e a região de Belo Oriente com valor mediano (0,468 g/cm³). O ambiente pode interferir na densidade da madeira por influenciar no crescimento da árvore, em que aqueles ambientes que proporcionam melhor condições de crescimento geram árvores com menores densidade. De acordo com Gonzalez et al. (2009), em estudos conduzido para verificar a influência do clima e do sítio nas propriedades da madeira, observaram que a densidade apresentou maiores valores nas madeiras provenientes de regiões sujeitas a maiores déficits hídricos. Gouvêa et al. (2012) em seu trabalho encontrou densidade básica média para clones de eucalipto de 0,486 g/cm³, resultado semelhante aos encontrados nesse estudo.

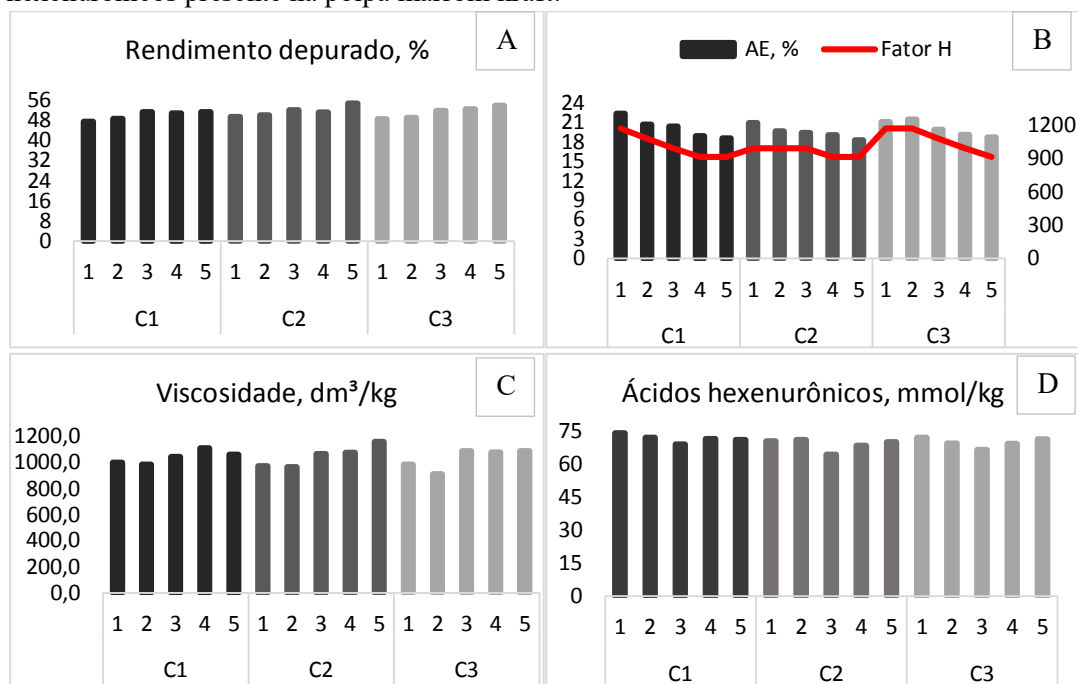
Analisando cada clone nas cinco regiões estatisticamente o clone C1 foi aquele que apresentou maior variação da densidade entre as regiões, variando 0,453 a 0,437 g/cm³, apresentando maior efeito de sítio na sua densidade básica, nas regiões com maior índice pluviométrico (Três Lagoas e Telêmaco Borba) as árvores apresentaram maior velocidade de crescimento, gerando assim uma menor densidade. O clone C2 apresentou variação entre as regiões de 0,472 a 0,477 g/cm³, tal variação não obteve diferença significativa a 95% de significância. O clone C3 variou de 0,481 a 0,489 g/cm³, apresentando

diferença significativa apenas da região de Bocaiúva, as demais regiões não se apresentaram diferentes significativamente.

3.3. Cozimento kraft

O principal objetivo da polpação química é remover a lignina, que atua como substância adesiva entre fibras de madeira, a fim de obter fibras celulósicas individualizadas com alto rendimento e propriedades adequadas (GOMIDE & GOMES, 2015). As amostras de madeira foram submetidas à polpação Kraft, sob condições pré-estabelecidas, em que apenas houve variação da temperatura e da dose de álcali de acordo com a demanda que cada amostra necessitava para obter kappa 17 e álcali efetivo residual entre 5-7 g/L. Os gráficos com os principais resultados estão expostos na Figura 5.

Figura 5. Resultados referentes a avaliação da polpação kraft de três clones/regiões para kappa 17, (A) rendimento depurado (%); (B) demanda de álcali efetivo requerido para atingir kappa 17 \pm 0,5 e fator H do cozimento; (C) viscosidade da polpa marrom kraft; (D) teor de ácidos hexenurônicos presente na polpa marrom kraft.



(1: Bocaiúva – MG; 2: Belo Oriente – MG; 3: Guanhães – MG; 4: Três Lagoas – MS e 5: Telêmaco Borba – PR)

Fonte: a autora.

O rendimento depurado da polpação variou de 47,4 a 54,6% (Figura 5 – A), apresentando uma tendência nos resultados entre as regiões, em que a região de Bocaiúva, em média para os três clones, foi a que apresentou menor rendimento de 48,4%, seguida de Belo Oriente com 49,1%, Três Lagoas e Guanhães com 51,7% e a região de Telêmaco Borba com maior rendimento de 53,2 %. Segundo Gomide & Gomes (2015) o rendimento de folhosas varia de 45 a 55%, deste modo os resultados desse estudo se apresentam dentro da variação. O clone C1 foi aquele que apresentou menor rendimento em todas as regiões comparado com os demais clones, o que pode estar relacionado com suas características químicas como maior teor de extrativos e lignina, e menor relação S/G da lignina (Capítulo 1) que

exigiram um cozimento mais agressivo com maior teor de álcali e maior temperatura, afetando o rendimento. De acordo com Fantuzzi Neto e Regazzi (2010) o rendimento pode ser influenciado pelas características da madeira e pelas variáveis do processo, por exemplo, a carga de álcali ativo, o teor de lignina e o teor de extrativos apresentam efeitos significativos no rendimento da polpação kraft.

Analisando os resultados da demanda de álcali (Figura 5 – B), confirma as ressalvas descritas na literatura, em que as amostras que demandaram maior teor de álcali são aquelas que apresentaram menor rendimento total no final da polpação kraft. A demanda de álcali efetivo para produção de polpas com kappa $17 \pm 0,5$ variou de 22,3 a 18,2% , seguindo uma mesma tendência entre as regiões para os três clones, em que a região de Bocaiúva, em geral, foi aquela que demandou maior teor de álcali (21,4%), seguida da região de Belo Oriente (20,6%), Guanhães (19,3%), Três Lagoas (18,9%) e Telêmaco Borba com a menor demanda (18,4%). A demanda de álcali pode ser explicada pelas características químicas da madeira, em que tais constituintes como lignina e extrativos interferem negativamente no processo, pois dificultam a impregnação dos cavacos e consomem mais reagentes (FANTUZZI NETO & REGAZZI, 2010). Sendo assim as madeiras de Telêmaco Borba e Três Lagoas que apresentaram menor teor de extrativos, exibiram mais facilidade de deslignificação, demandando menor teor de álcali, ao contrário da região de Bocaiuva, região de maior estresse com árvores com maiores teores de extrativos e lignina. Além disso também pode ser explicada pela densidade, em que madeiras que possuem baixa densidade, apresentam mais espaços vazios na sua estrutura, o que pode facilitar a penetração e difusão do licor de cozimento, e portanto necessitando de menor carga de álcali (FANTUZZI NETO, 2012).

Fator H é o parâmetro que relaciona tempo e temperatura, é calculado com base na taxa de deslignificação. O uso desse parâmetro permite controlar as variáveis de tempo e temperatura para atingir o kappa desejado (BRANVALL, 2017). Portanto um fator H menor significa menor tempo ou menor temperatura, no caso desse estudo o tempo foi fixo, variando apenas a temperatura, a qual variou de 165 – 167 °C, afetando o Fator H. Os cozimentos que ocorreram em menor temperatura, que foram os correspondentes as regiões de Três Lagoas e Telêmaco Borba apresentaram menor Fator H, essa diferença no fator H levou a uma diferença no rendimento da polpação, onde se observou que quanto menor fator H, maior o rendimento. O fator H aplicado para as regiões de Bocaiuva e Belo Oriente e a demanda de carga alcalina efetiva foram maiores, devido aos maiores teores de extrativo e lignina que essas regiões apresentaram.

A viscosidade representa o grau de degradação dos carboidratos, está relacionada com o grau de preservação da polimerização dos carboidratos. De maneira geral quanto maior a viscosidade, maior a preservação dos carboidratos e consequentemente tendem a gerar polpas de melhores resistências. A viscosidade é afetada pelas condições que ocorreram a polpação kraft, os cozimentos que ocorreram em condições mais drásticas, maiores temperaturas, tempo e dosagens de álcali efetivo, se apresentam menos seletivos, ocasionando maior degradação dos carboidratos (GOUVÊA, et al., 2009). Nesse estudo a viscosidade variou de 910 a 1158 dm³/kg (Figura 5 – C), estando os menores valores

encontrados nas regiões que demandaram maior teor de álcali, assim as regiões de Bocaiúva e Belo Oriente com menores viscosidades (983,7 e 951,8 dm³/kg, respectivamente) e as regiões de Telêmaco Borba e Três Lagoas com os maiores resultados (1101 e 1086 dm³/kg).

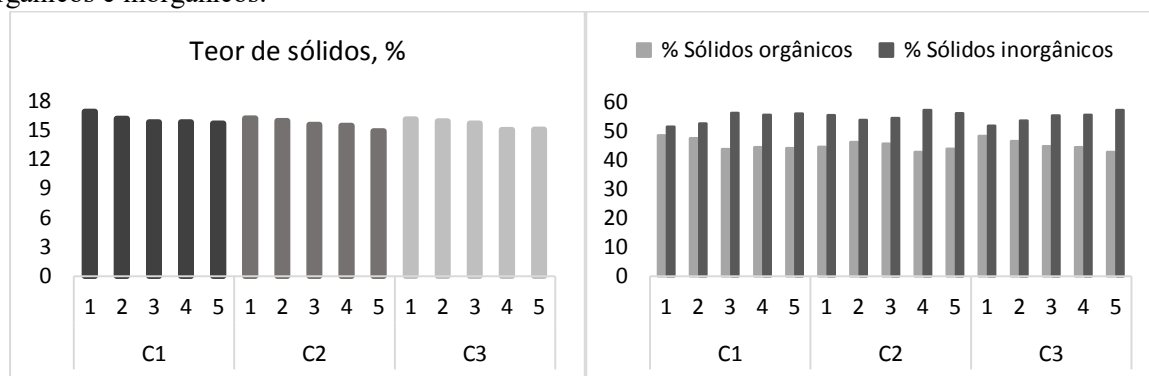
Durante o processo de polpação kraft ocorre modificações nas estruturas das hemiceluloses, a principal modificação já detectada é a conversão do 4-O-metilglicurônicos, presentes na xilanas, em ácidos hexenurônicos (CHAKAR et al., 2000). A Figura 5 – D apresenta os valores de HexA's das polpas de celulose marrom dos clones em cada região estudada. A variação encontrada foi de 64,1 a 73,9 mmol.kg⁻¹. Segundo DANIEL et al. (2003) a formação dos HexA's é influenciada pelas características de constituição química da madeira e, entre outros fatores, pela carga alcalina utilizada na polpação, essa que também afeta na degradação desse composto. Nesse estudo, os cozimentos realizados com maior carga álcali apresentaram ligeiramente maiores teores de HexA's, tendo o resultado desse composto podendo ser mais explicado por sua constituição química, em que os ácidos urônicos, presentes nas hemiceluloses da madeira no processo de polpação é convertido em HexA's, discutido no Capítulo 1, desta forma, aquelas madeiras que apresentaram maiores teores de urônicos na madeira, apresentaram maiores teores de HexA no final da polpação kraft. A região de Guanhães foi aquela que apresentou menor teor de HexA para os três clones, 68,8,64,1 e 66,4 mmol/kg, referentes respectivamente aos clones C1, C2 e C3, o que pode ser explicado pela sua constituição química, uma vez que as madeiras dessa região apresentaram menores teores de urônicos.

A variação encontrada para teores de sólidos totais no licor negro oriunda dos processos de polpação foram de 16,9 a 14,9 % (Figura 6), em que a região de Bocaiúva apresentou maior média pra os três clones (16,4 %), seguida de Belo Oriente (16,0%), Guanhães (15,6%), Três Lagoas (15,4%) e Telêmaco Borba com a menor média (15,2%). Em geral o clone C1 apresentou maior média geral de 16% de sólidos. O que pode relativamente aumentar o teor de sólidos totais no licor é o aumento da carga de álcali no cozimento, pois este aumenta a fração inorgânica desses licores de forma direta, e de forma indireta, dependendo das condições pode resultar em maior degradação de carboidratos que também pode contribuir para um maior teor de sólidos. Quanto maior o teor de sólidos dissolvidos no licor negro, para uma mesma condição de processo de polpação, maior a intensidade de deslignificação e perdas de carboidratos (Sá, 2014). De forma geral, o aumento do teor de sólidos do licor negro não é desejável, por representar perdas de matéria prima, e devido a este interferir na etapa de recuperação química, sobrecarregando as caldeiras de recuperação, e por conseguinte limitando a produção de licor branco, e com consequente perda de produção fabril.

Os sólidos totais presentes no licor negro são divididos em compostos orgânicos e inorgânicos, em que os materiais orgânicos derivados da madeira são provenientes dos extrativos, da lignina e da fração de carboidratos, principalmente hemiceluloses e parte da celulose. Os principais constituintes inorgânicos no licor negro são originários do licor branco usado no cozimento e também pequenas quantidades de inorgânicos podem entrar com a madeira oriundos das frações de cinzas que compõem a mesma (MELO et al, 2011). Nesse estudo o teor de sólidos orgânicos variou de 42,7 a 48,52% e a de

sólidos inorgânicos variou de 51,4 a 57,3%, onde os maiores valores de sólidos inorgânicos foram encontrados nas regiões de Três Lagoas e Telêmaco Borba. De forma geral, estes resultados corroboram com os dados apresentados para a performance da polpação, onde os maiores rendimentos e menores demandas de álcali efetivos, coincidem com os menores valores de sólidos, principalmente da fração orgânica, o que proporcionalmente causou uma elevação percentual da fração inorgânica.

Figura 6: Resultados referentes a avaliação do teor de sólidos do licor negro provenientes dos cozimentos kraft realizados em três clones/regiões, (A) Teor de sólidos totais (%); (B) Teor de sólidos orgânicos e inorgânicos.



(1: Bocaiúva – MG; 2: Belo Oriente – MG; 3: Guanhães – MG; 4: Três Lagoas – MS e 5: Telêmaco Borba – PR)

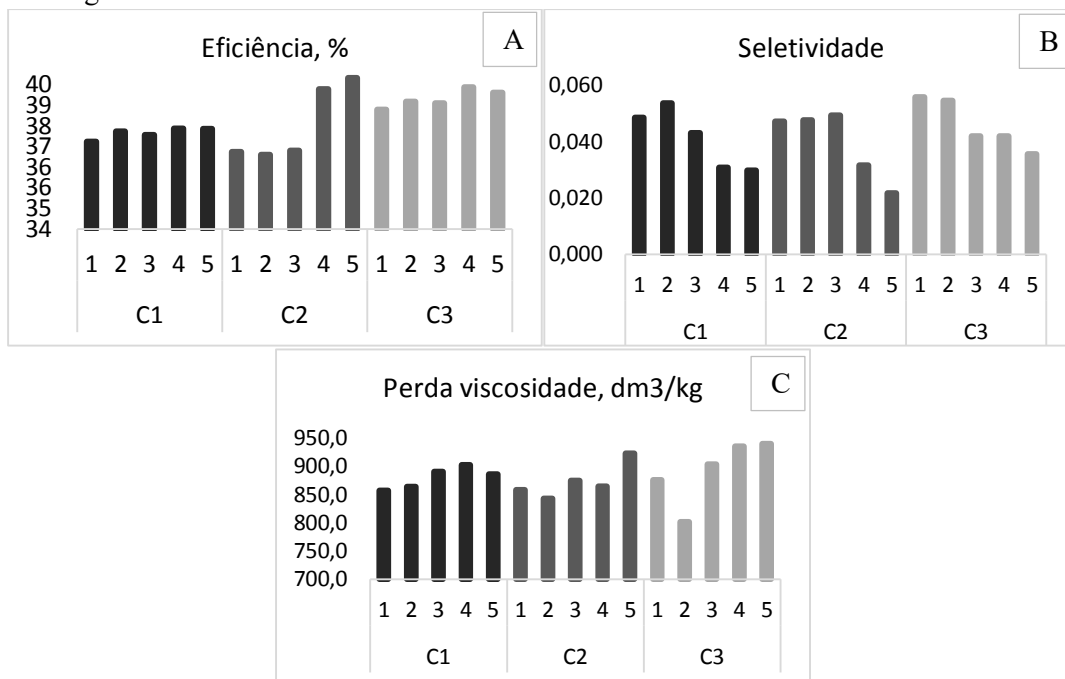
Fonte: a autora

3.4. Branqueamento

3.4.1. Pré deslignificação com oxigênio

No branqueamento de polpa celulósica, em que a maior parte da lignina foi removida na polpação e na lavagem, faz-se um processo de deslignificação suplementar a polpação, chamado de pré deslignificação com oxigênio, processo mais seletivo para a remoção da lignina, podendo a remoção desse composto alcançar percentual de 25 a 65% de eficiência em termos de redução do número kappa, muitas vezes reportado com eficiência do processo (SIXTA et al., 2006). Os resultados da eficiência, seletividade e perda de viscosidade dessa etapa estão expostos na Figura 7.

Figura 7. Gráfico dos parâmetros avaliativos da pré-deslignificação com oxigênio das três polpas de três clones/região, (A) Eficiência, %; (B) Seletividade; (C) Perda de viscosidade, dm^3/kg .



(1:Bocaiúva – MG; 2: Belo Oriente – MG; 3:Guanhães – MG; 4:Três Lagoas – MS e 5: Telêmaco Borba – PR)

Fonte: a autora.

A eficiência da deslignificação com oxigênio, medida pela queda do número kappa variou de 37,0 a 39,9%, seguindo uma mesma tendência entre as regiões nos três clones. Os maiores resultados são encontrados nas regiões de Três Lagoas e Telêmaco Borba, o que pode ser explicado pelo baixo teor de lignina total presente nessas regiões. Em média o clone com melhor eficiência na deslignificação foi o C3, isso ocorreu pelo fato desse apresentar menor teor de lignina na madeira o que provavelmente também ia acontecer na polpa marrom gerada.

Ocorreu uma diminuição da viscosidade da polpa marrom para polpa após pré deslignificação com oxigênio na faixa de 11 a 22%. Sendo as maiores perdas de viscosidade encontradas nas amostras que apresentavam maior viscosidade na polpa marrom. De acordo com Ventorim et al, (2006) a polpa marrom com alta viscosidade tipicamente perde mais viscosidade durante a deslignificação com oxigênio, confirmando o que aconteceu nesse estudo. Aquelas amostras que foram produzidas em condições mais brandas, apresentaram maior viscosidade, entretanto após a deslignificação com oxigênio evidenciou uma menor variação entre as viscosidades, uma diferença entre a maior e a menor viscosidade que era de 248 dm^3/kg na polpa marrom, passou a ser 138 dm^3/kg , na polpa após a pré deslignificação com oxigênio, sendo as maiores viscosidades apresentadas para as polpas que apresentavam também maior viscosidade na polpa marrom.

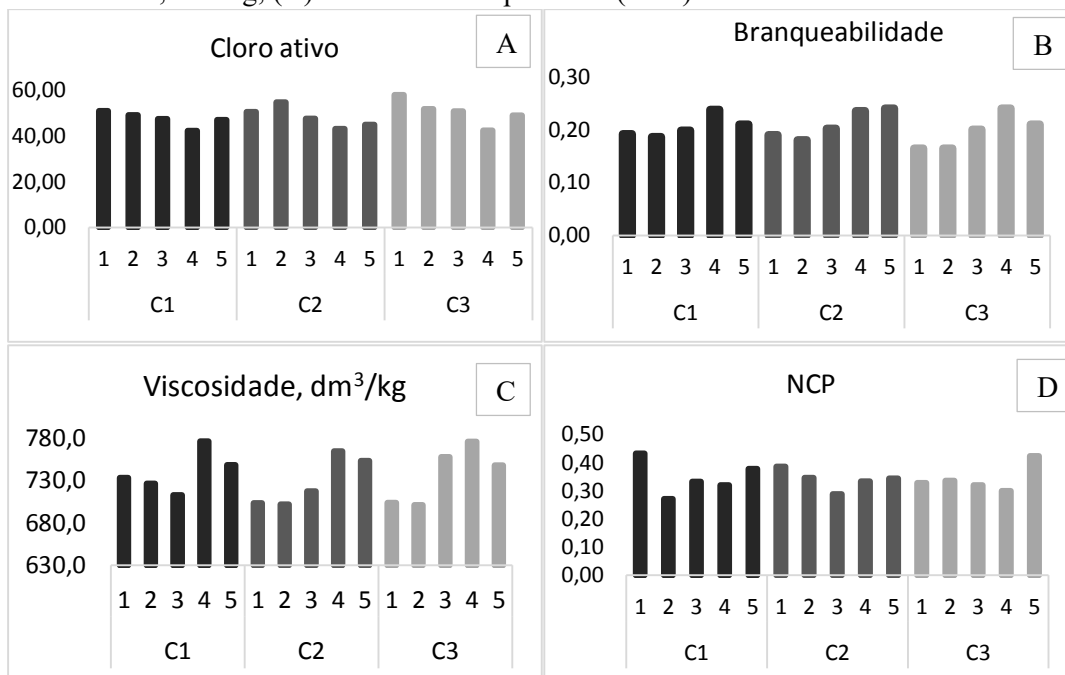
A seletividade demonstra quanto o processo de deslignificação de oxigênio foi seletivo para a lignina, medindo assim o efeito do processo nas moléculas de carboidratos. A principal causa de degradação da celulose que ocorre durante o processo, é o ataque dos radicais livres, produzidos na reação do oxigênio com os grupos fenólicos da lignina, sobre as unidades de carboidratos (JI et al.,

2009). Os radicais livres oxidam um ou mais grupos hidroxilas na cadeia de celulose, formando grupos carbonila, esses que em condições alcalinas promovem a clivagem oxidativa da cadeia de celulose, gerando polissacáridos com cadeias menores e, consequentemente polpas com menor viscosidade (MARTINO & COLODETTE, 2015). Como a seletividade é a relação entre a perda do número kappa sobre a perda de viscosidade, aquelas polpas que apresentaram maior perda de viscosidade apresentaram menor seletividade. Dessa forma a grande perda de viscosidade nas regiões de Três Lagoas e Telêmaco Borba causaram uma menor seletividade na deslignificação com oxigênio.

3.4.2. Branqueamento D*(EP) D

Após a deslignificação com oxigênio as polpas foram submetidas a sequência de branqueamento D*(EP)D. Em que o estágio D* é o estágio de branqueamento com dióxido de cloro em alta temperatura, que tem como uma de suas premissas a remoção do HexA, sendo assim esse estágio exerce dupla função, a remoção da lignina e a remoção de HexA (COLODETTE & GOMES, 2015). No segundo estágio, extração alcalina com peróxido de hidrogênio, o objetivo é remover a lignina oxidada e clorada (ANDRADE et al., 2015). E o último estágio, também com dióxido de cloro, é realizado visando atingir a alvura desejada, que nesse estudo foi de 90% ISO. Os resultados do branqueamento foram interpretados com base nos parâmetros de qualidade das polpas branqueadas, como os valores de cloro ativo total, branqueabilidade, reversão de alvura e viscosidade, conforme descritos na Figura 8.

Figura 8: Parâmetros avaliativos da sequência de branqueamento D*(EP)D realizada nas polpas de três clones/regiões, (A) Cloro ativo total, kg/tsa; (B) Branqueabilidade; (C) Viscosidade, dm³/kg; (D) Número de cor posterior (NCP).



(Região 1: Bocaiúva – MG; 2: Belo Oriente – MG; 3: Guanhães – MG; 4: Três Lagoas – MS e 5: Telêmaco Borba – PR)

Fonte: a autora.

Cloro ativo total representa a soma de todos os compostos que promovem a oxidação da polpa durante o branqueamento, nesse estudo foram o dióxido de cloro usados na etapa D* e D₁ e o peróxido de hidrogênio da etapa EP. Dessa forma quanto menor o valor de cloro ativo total, melhor o branqueamento, uma vez que gastou menos reagentes, assim menor o custo do processo. Nos resultados obtidos, os branqueamentos das polpas das regiões de Bocaiúva e Belo Oriente foram aqueles que demandaram maiores doses de reagentes, comparado com as demais regiões. Observa-se que as polpas que vieram de cozimentos em condições mais brandas exigiram menor consumo de reagentes, ou seja, essas são de mais fácil deslignificação.

A branqueabilidade expressa quantas unidades de kappa são removidas utilizando-se uma base comum para os reagentes utilizados, sendo expressos como cloro ativo (kg), portanto é um resultado que apresenta tendência inversa ao cloro ativo total. A branqueabilidade depende da composição química da madeira, grau de deslignificação, as condições e tipo do processo de polpação e da sequência de branqueamento (DUARTE & BATISTA, 2003). As polpas advindas de cozimentos mais brandos apresentaram uma maior branqueabilidade, apresentam uma maior deslignificação. As amostras que apresentaram uma menor branqueabilidade, Bocaiúva e Belo Oriente, são aquelas que apresentaram em sua constituição química maiores teores de extrativos e menor relação S/G, o que afeta no consumo de reagentes no processo de polpação e branqueamento.

A viscosidade, como mencionado anteriormente, é um parâmetro de qualidade, em que demonstra indiretamente a degradação sofrida pelos carboidratos. As polpas branqueadas produzidas nesse estudo apresentaram viscosidade variando 701,5 a 776,0 dm³/kg (Figura 8 – C), sendo as maiores viscosidades encontradas nas polpas referentes as regiões de Três lagoas e Telêmaco Borba, as quais exigiram menor consumo de reagentes no branqueamento e também no processo de polpação, causando assim menor degradação as cadeias de polissacarídeos, gerando consequentemente polpas com maior viscosidade.

A estabilidade de alvura da polpa foi medida pela reversão da alvura e expressa em número de cor posterior (NCP). Quanto maior o NCP maior é a instabilidade de alvura. O NCP desse estudo variou na faixa de 0,27 a 0,43, nota-se que não houve uma tendência entre as regiões, para os três clones, como na maioria dos resultados encontrados (Figura 8 – D). O NCP é causado por compostos leucocromóforos remanescentes na polpa branqueada, esses que são os grupos carbonilas, quinonas (lignina) e ácidos hexenurônicos, os quais em condições adversas de umidade e temperatura, podem reagir, se convertendo novamente em estrutura cromófora, causando um amarelecimento na polpa. O NCP no caso desse estudo, de acordo com a literatura, pode ser influenciado pelo teor de hexa, segundo Gomes e Colodette (2015) polpas branqueadas por sequência ECF raramente possuem quantidades significativas de ligninas e grupos carbonilas, frequentemente contém certa quantidade de HexA, o qual influencia significativamente na reversão da alvura.

3.5.Morfologia

As características morfológicas do material fibroso branqueado interferem nas propriedades de resistência da polpa celulósica, podendo esses resultados auxiliarem na compreensão das características físico-mecânicas de utilização da polpa celulósica, como para a produção de papéis. As polpas celulósicas branqueadas dos três clones de eucalipto nas cinco regiões foram analisadas morfolologicamente quanto aos parâmetros: *coarseness*, número de fibras/grama, comprimento fibras e teor de finos. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabelas 10.

Tabela 10: Análise morfológica do material fibroso para as polpas branqueadas de três clones/sítio.

Clone	Região	<i>Coarseness</i> , mg/100m	Número de fibras/ grama, milhões	Comprimento de fibra, mm	Teor de finos, %
C1	1	5,01	2,619	0,717	3,85
	2	4,48	2,847	0,747	3,70
	3	5,10	2,467	0,777	3,20
	4	5,37	2,636	0,755	3,30
	5	5,34	2,358	0,767	2,90
C2	1	4,84	3,123	0,648	3,00
	2	4,68	2,979	0,694	2,90
	3	5,22	2,597	0,715	2,80
	4	4,81	2,987	0,680	2,80
	5	5,21	2,469	0,751	2,80
C3	1	5,42	2,762	0,660	3,00
	2	5,20	2,730	0,687	2,70
	3	5,36	2,633	0,700	2,70
	4	5,68	2,445	0,717	2,50
	5	5,27	2,182	0,844	3,00

(Região 1- Bocaiuva; 2 – Belo Oriente; 3 – Guanhães; 4 – Três Lagoas; e 5 – Telêmaco Borba)

Fonte: a autora

A propriedade *coarseness* é definida como o valor de massa total de uma linha de fibras de 100 metros de comprimento. Nesse trabalho, o *coarseness* variou de 4,48 a 5,68 mg/100m, os maiores resultados foram encontrados nas regiões de Três Lagoas e Telêmaco Borba, com média entre os três clones de 5,28 e 5,27 mg/100m, respectivamente. A menor média foi encontrada na região de Belo Oriente, 4,79 mg/100m, já as regiões de Bocaiuva e Guanhães obtiveram 5,09 e 5,23 mg/100m em média, respectivamente. Tal resultado demonstra que houve efeito do ambiente nessa propriedade. Em relação aos clones, o clone C3 apresentou maior média de 5,39 mg/100m e o clone C2 menor média de 4,95 mg/100m. De acordo com a literatura os valores de *coarseness* variam de 4,5 a 11 mg/100m (CARVALHO, 1997; FOELKEL, 2007), estando, portanto, os valores obtidos nesse estudo concordante com a literatura.

O número de fibras/grama apresentou pouca variação entre as regiões nos três clones, sendo a maior média entre os clones encontrada na região de Belo Oriente, 2,852 milhões e a menor média

encontrada na região de Telêmaco Borba, 2,336 milhões. De acordo com Karlsson (2006) o número de fibras/grama pode ser afetado pelo processo de produção da pasta celulósica, como também pelo material de origem. Nesse estudo o número de fibras/grama está mais relacionado com a densidade da madeira, onde aquelas regiões que apresentaram madeiras com maior densidade, apresentaram maior número de fibras/grama, que seriam as regiões de Bocaiúva e Belo Oriente.

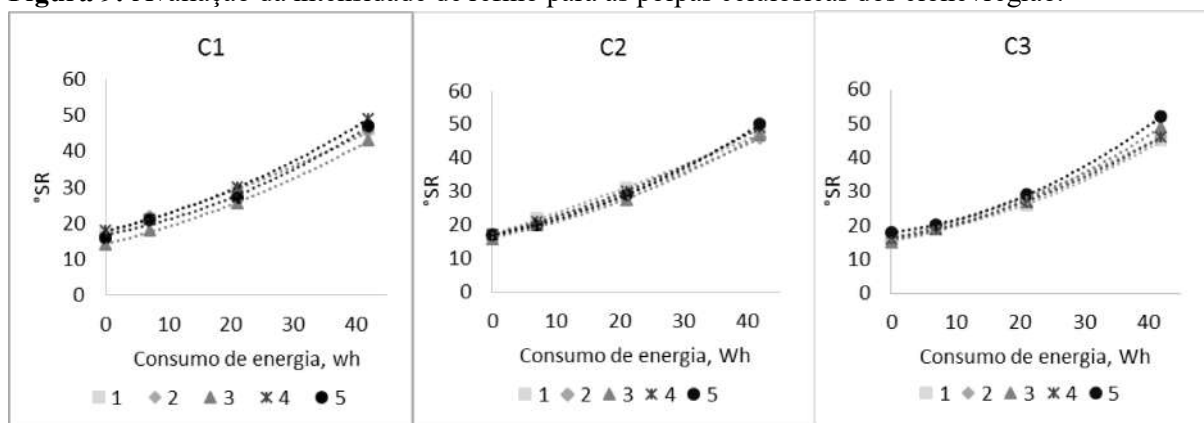
O comprimento das fibras segundo Foelkel (2007) varia entre 0,60 a 0,85 mm, estando os resultados encontrados nos três clones para as cinco regiões de acordo com a literatura. A média entre as regiões variou de 0,67 a 0,79 mm, sendo os menores resultados encontrados naquelas regiões que apresentaram menor viscosidade na polpa branqueada, sendo elas Bocaiúva e Belo Oriente, com comprimento de fibras de 0,67 e 0,71 mm, respectivamente.

O teor de finos abrange fragmentos de fibras com comprimento menor que 0,20 mm, elementos de vaso e fibrilas, principalmente (FOELKEL, 2009). Os resultados dessa propriedade morfológica apresentaram pouca variação entre as regiões para os clones avaliados. Sendo que aquelas regiões que foram produzidas em condições mais rigorosas, apresentaram ligeiramente maior teor de finos. Em relação aos clones, o clone C1 apresentou maiores teores de finos nas regiões, o que pode ser explicado pela maior carga de álcali utilizada no cozimento das amostras desse clone, o que gerou maior degradação das fibras, as quais ficam mais susceptíveis a fragmentação originando maiores teores de finos.

3.6. Propriedades da polpa branqueada

Para avaliar o impacto das condições de polpação e branqueamento na refinabilidade e propriedades físico-mecânicas da polpa, as polpas produzidas foram refinadas em quatro pontos de refino (0,500, 1500 e 3000). O refino tem como propósito causar o intumescimento das fibras e aumentar as ligações interfibras. Para avaliar a capacidade do refino de cada amostra, foi empregado o teste de grau *Schopper Riegler* (°SR revoluções do moinho), o qual mede a resistência da polpa a drenagem, ou seja, a dificuldade de escoamento da água através das fibras. Dessa forma quanto menor o escoamento, maior a resistência a drenagem e consequentemente maior o °SR. A intensidade de refino torna-se maior com o aumento da energia aplicada nesta operação. Na Figura 9 estão expostos os gráficos relacionados a refinabilidade da polpa, reportados em relação ao consumo de energia em Wh e o respectivo °SR.

Figura 9: Avaliação da intensidade de refino para as polpas celulósicas dos clone /região.



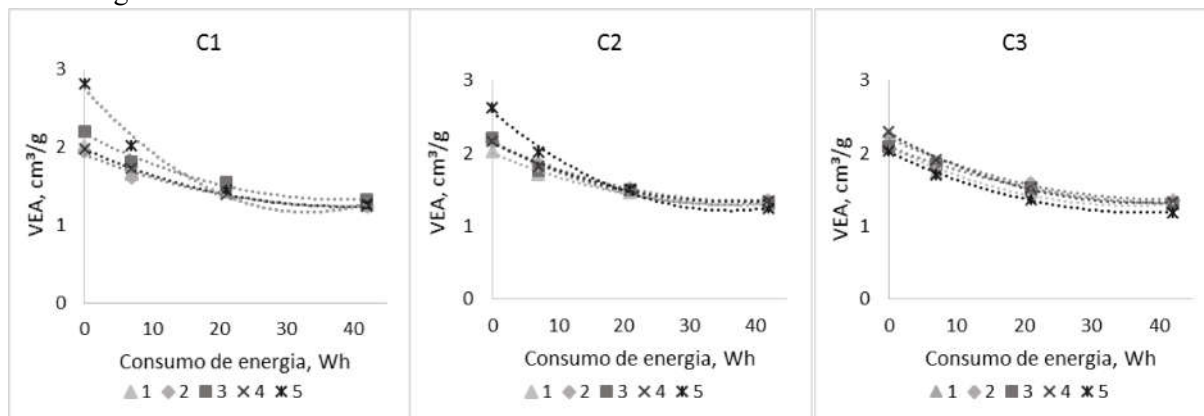
(Região 1- Bocaiúva; 2 – Belo Oriente; 3 – Guanhães; 4 – Três Lagoas; e 5 – Telêmaco Borba)

Fonte: a autora

Os valores de resistência a drenagem nas polpas sem refinação e com consumo de energia, foram muito próximos para as cinco regiões, nos três clones estudados. No clone C1 houve um destaque da região 4, apresentando 30 e 49°SR para os pontos de consumo de energia, correspondentes aos pontos de refino de 1500 e 3000 revoluções do moinho, respectivamente. E no clone C3 a região 5 apresentou destaque no ponto de maior grau de refino, aquela que teve maior consumo de energia. As regiões 4 e 5 foram aquelas que na etapa de polpação demandaram um menor consumo de álcali, gerando uma menor degradação das fibras, o que facilita o desfibrilamento dessas, e conseqüentemente aumenta as ligações entre elas. A alta resistência a drenagem em maiores consumos de energia, que correspondem ao aumento do grau de refino é explicado pela maior desfibrilação causada nas fibras, gerando maiores ligações entre as fibras, formando uma manta mais bem arranjada e fechada, com pouco espaço vazio, e assim maior resistência a drenagem de água.

O refino causa modificações na estrutura das fibras. Apesar dessas modificações não serem muito desejadas, possuem vantagens e desvantagens no que tange a fabricação de papel. Em geral, para um dado grau de refino, os benefícios ganhos são maiores que os efeitos adversos, por exemplo com o aumento da refinação, aumenta-se a resistência físico-mecânica do papel existindo um ponto ótimo, onde após este ponto a propriedade tende a decrescer (GHAREHKHANI et al., 2015). As empresas buscam introdução de refinadores e de polpas, que forneçam economia de energia e capacidade de refino (GHAREHKHANI et al., 2015). Assim os testes físicos-mecânicos nas polpas branqueadas para cada ponto de refino, foram expressos em função da energia consumida no refino das polpas, em cada região para cada clone. Para comparação entre as médias foi realizado o teste de médias Tukey a 95% de significância, para comparação entre as regiões dentro de cada clone. Os resultados estatísticos estão expostos nas tabelas 22 – 27 no apêndice 2, e os gráficos referentes aos teste físico-mecânicos realizado nas polpas branqueadas das 5 regiões para cada clone estão apresentados nas Figuras 10 - 15 a seguir.

Figura 10: Efeito da energia de refino no volume específico das polpas celulósicas branqueadas dos clones/região.

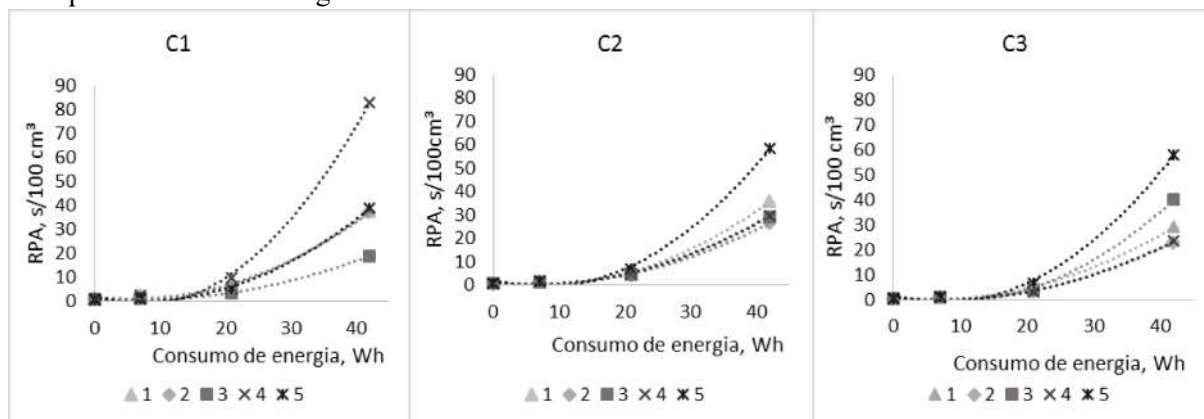


(Região 1- Bocaiúva; 2 – Belo Oriente; 3 – Guanhães; 4 – Três Lagoas; e 5 – Telêmaco Borba)

Fonte: a autora

O volume específico aparente (VEA) está relacionado à capacidade de uma determinada folha apresentar maior ou menor volume (espessura) a uma gramatura específica. Essa propriedade associa-se à porosidade das folhas de papel e interfere em inúmeras características de uso dos papéis (Foelkel, 2009). Os valores mais elevados de VEA foram obtidos para as polpas sem refino, e à medida que aumenta a intensidade de refino diminui o valor. Isso ocorre devido o refino provocar alta colapsabilidade das fibras, provocando o achatamento destas, diminuindo seu volume (NUGROHO, 2012). As polpas apresentaram maiores diferença estatísticas significativas em menor consumo de energia, que corresponde aos níveis de refino 0 e 500. Já a medida que aumentou o consumo de energia observou uma menor diferença entre os resultados, os quais apresentaram pouca ou nenhuma diferença significativa entre as regiões.

Figura 11: Efeito da energia de refino na resistência à passagem de ar das polpas celulósicas branqueadas dos clones/região.



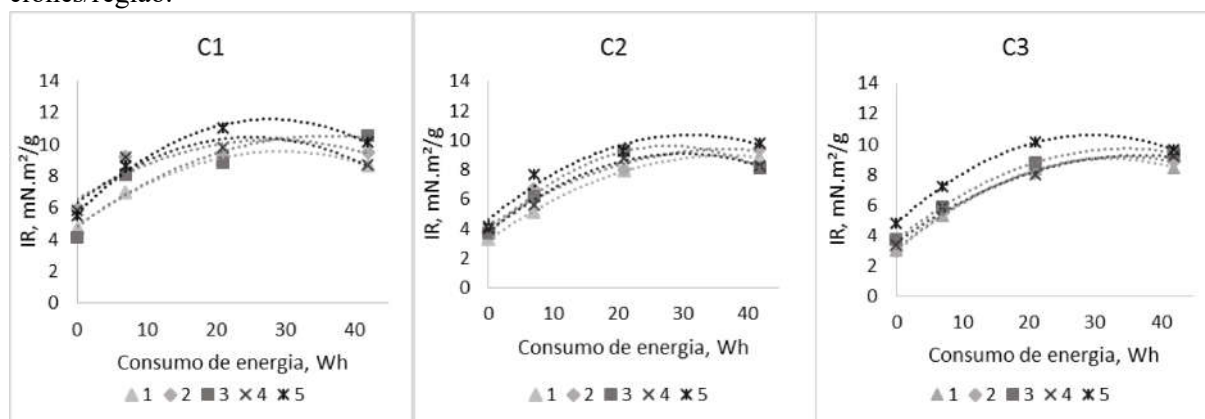
(Região 1- Bocaiúva; 2 – Belo Oriente; 3 – Guanhães; 4 – Três Lagoas; e 5 – Telêmaco Borba)

Fonte: a autora

A resistência à passagem de ar (RPA) representa a dificuldade que um determinado volume de ar encontra para passar através de uma folha de papel e é dependente do número, tamanho, forma e

distribuição dos poros no material (D’Almeida, 1988). É notável na Figura 11 que quando as polpas atingem intensidade máxima de refino, visualizado graficamente no ponto de consumo de energia 40 Wh, houve um aumento significativo da RPA, o que pode ser explicado pelo maior colapso das fibras e maior quantidade de ligação interfibras gerado com o aumento do refino e durante a formação das folhas. Para os clones C2 e C3 as polpas referentes a região de Telêmaco Borba apresentaram maior resistência a passagem de ar, apresentando diferença significativa com as demais regiões, tal região apresentou na análise morfológica, para os dois clones mencionados, menor número de fibras por grama e maior comprimento de fibra (Tabela 10). Para o clone C1, a região de Três Lagoas que apresentou maior RPA em todas as intensidades de refino. Segundo Carvalho (1997) a RPA é influenciada pela capacidade de colapsamento, habilidade de conformabilidade das fibras à estrutura do papel e potencial de ligações interfibras, tais características que são dependentes das características morfológicas das fibras como comprimento, espessura de parede e diâmetro de lúmen, além do número de fibras por grama e teor de finos. De forma geral o clone C1 apresentou estatisticamente maior RPA.

Figura 12: Efeito da energia de refino no índice de rasgo das polpas celulósicas branqueadas dos clones/região.



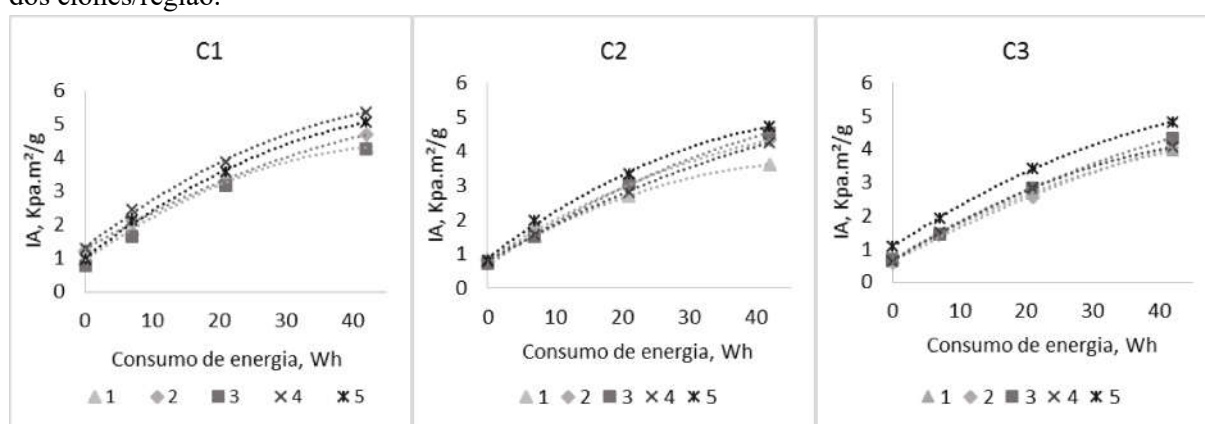
(Região 1- Bocaiúva; 2 – Belo Oriente; 3 – Guanhães; 4 – Três Lagoas; e 5 – Telêmaco Borba)

Fonte: a autora

A resistência ao rasgo, por definição, é o trabalho executado por um pêndulo, necessário para rasgar um conjunto de folhas, após um corte inicial de comprimento específico ter sido previamente realizado nas amostras (Smook, 1990). O índice de rasgo (IR) é o resultado da divisão da força média necessária para rasgar a folha, pela gramatura (D’Almeida, 1988). Pode ser verificado, conforme a tendência apresentada na Figura 12, que o aumento da energia requerida no refino eleva a resistência ao rasgo do papel. No entanto em um certo momento tende a estabilização e posteriormente redução dos valores, ocasionado pelos danos excessivo nas fibras, ocorrendo perda da resistência intrínseca as fibras, ocasionando por consequência redução de resistência ao rasgo no papel (FARIA, 2016). Para o clones C1 e C2 o ponto máximo de resistência esteve próximo ao consumo de energia de refino de 21Wh, com exceção da região 3 no clone C1 e da região 2 e 5 do clone C2 que apresentaram maior resistência em maior consumo de energia de refino, o que pode ser talvez explicado por menores danos nas

características estruturais/morfológicas das fibras em que nestas regiões apresentaram em relações as outras. De acordo com Foelkel (2009) o IR é muito afetado pela resistência de ligação interfibras e também pelo comprimento de fibras. Já no clone C3 o máximo de resistência foi encontrado próximo ao consumo de energia de refino 42Wh, exceto a região 5, que apresentou perda de resistência nesse ponto, entretanto apresentou maior IR nos demais pontos de refino. Em geral, a região 5 foi a que apresentou maior IR, sendo essa região que apresentou maior comprimento de fibra. Kerekes e Oslon (2003) explicam que a fibra é cortada durante o refino e assim, há diminuição do seu tamanho médio de fibras, assim as fibras longas resultam em maior resistência ao rasgo.

Figura 13: Efeito da energia de refino no índice de arrebatamento das polpas celulósicas branqueadas dos clones/região.

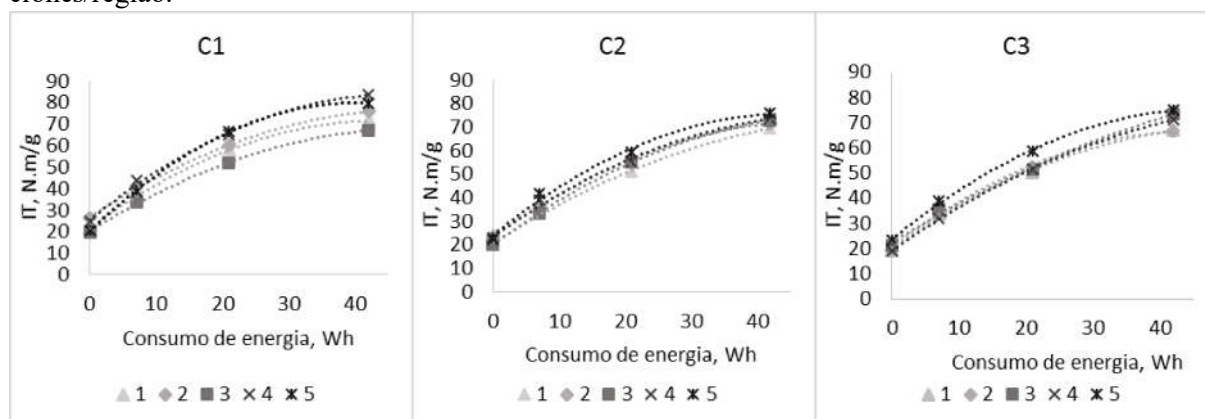


(Região 1- Bocaiúva; 2 – Belo Oriente; 3 – Guanhães; 4 – Três Lagoas; e 5 – Telêmaco Borba)

Fonte: a autora

A resistência ao arrebatamento é definida como a força necessária para promover o arrebatamento da folha de papel, ao aplicar uma pressão crescente, transmitida por um diafragma elástico de área circular (SMOOK, 1990). O índice de arrebatamento (IA) é determinado ao dividir a resistência ao arrebatamento pela gramatura do papel testado. É notável na Figura 13 que houve o aumento do IA com o aumento do consumo de energia, o valor dessa propriedade é influenciado, principalmente, pelo número de ligações interfibras e pela força destas ligações, que aumentam com a intensidade de refino. A região 5 para os clones C2 e C3, foi aquela que apresentou diferença significativa com as demais regiões, se destacando positivamente no teste de IA, já no clone C1 a região de Três Lagoas (Região 4) apresentou melhores resultados. As polpas de tais regiões foram produzidas em condições mais brandas de processo causando menor degradação das fibras, o que pode ter influência no teste.

Figura 14: Efeito da energia de refino no índice de tração das polpas celulósicas branqueadas dos clones/região.

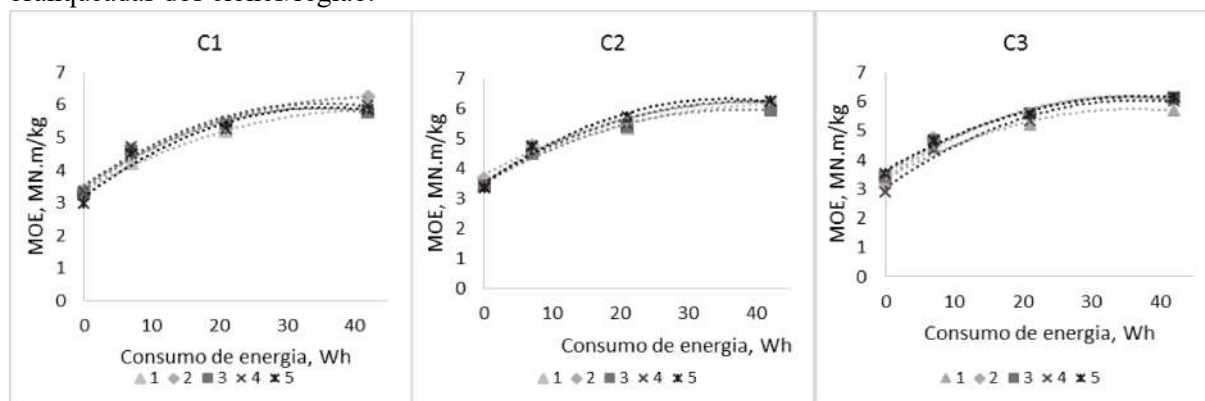


(Região 1- Bocaiúva; 2 – Belo Oriente; 3 – Guanhães; 4 – Três Lagoas; e 5 – Telêmaco Borba)

Fonte: a autora

A tração é uma das mais importantes propriedades de resistência do papel. A resistência à tração para as polpas não branqueadas foi representada pelo índice de tração (IT), que é a derivada da força de tração responsável pela ruptura do corpo de prova, em relação à sua largura e sua gramatura (D'Almeida, 1988). O IT apresenta um aumento do consumo de energia, do refino ocasionando a maior desfibrilação da fibra, aumentando o número de ligações interfibras, que são os parâmetros que influenciam de forma significativa esta propriedade. É notável na Figura 14, que quando foi aplicada mais refinação à polpa, a diferença entre os IT aumentou entre as regiões, se aproximando no mais alto nível de refino para os clones C2 e C3, ou seja, para o nível de refino de 3000 revoluções do moinho (REV.) não houve diferença significativa, em nível de 95% de significância, entre as regiões. No nível de refino de 1500 REV as regiões não se diferenciaram estatisticamente para o clone C3, e para o clone C2 apresentou pouca diferença. Já o clone C1 apresentou maiores diferenças entre as regiões, em que a região 3 apresentou resultado inferior para IT em relação as demais regiões para todos os níveis de refino e as regiões 4 e 5 se destacaram positivamente. Tal destaque das regiões pode estar relacionado com a menor degradação das fibras gerada na etapa de polpação.

Figura 15: Efeito da energia de refino no módulo de elasticidade específico das polpas celulósicas branqueadas dos clones/região.



(Região 1- Bocaiúva; 2 – Belo Oriente; 3 – Guanhães; 4 – Três Lagoas; e 5 – Telêmaco Borba)

Fonte: a autora

O módulo de elasticidade específico (MOE) expressa a capacidade de um material resistir à deformação, quando submetido a um esforço, a cada variação crescente de carga aplicada por unidade de massa específica do material. O papel, quando submetido a um esforço contínuo, geralmente descreve, inicialmente, um comportamento linear (região de deformação elástica) e, após ultrapassar essa região, assume comportamento plástico (região de deformação plástica) até atingir a carga máxima que é capaz de absorver (carga máxima de ruptura), chegando ao rompimento, o MOE indica o seu potencial de rigidez (MOREIRA, 2006). Os resultados encontrados para as regiões manifestaram grande ganho de rigidez com o refino, o que era esperado devido ao potencial de maior número de ligações interfibras das fibras gerado pelo refino. As regiões neste parâmetro não apresentaram diferença estatística significativa para nível de significância de 95%. De forma geral os clones C2 e C3, apresentaram resultados de MOE superiores ao clone C1, o clone C1 foi aquele que apresentou maior teor de finos e maior número de dobras por fibras (apêndice B - tabela 21), o que pode ter prejudicado o resultado do parâmetro. Segundo Pedrazzi (2009) são fatores que influenciam o MOE do papel são, além do número de ligações interfibras, a presença de imperfeições nas paredes das fibras, como dobras, torções e microcompressões, e a rigidez das fibras que, no papel formado o deixam mais rígido, diminuindo o seu MOE.

3.7. Correlação ambiente x produção celulose

As correlações entre as variáveis de densidade básica, rendimento de celulose, demanda de álcali efetivo e viscosidade com as características meteorológicas e de produtividade do ambiente estão expostas na Tabela 11.

Tabela 11. Correlações entre as variáveis meteorológicas e produtividade do ambiente com a densidade básica, rendimento, álcali efetivo e viscosidade.

Variáveis	Precipitação	Déficit hídrico	Tmed	IMA
Densidade	-0,18	0,15	0,05	-0,20
Rendimento	0,73*	-0,83*	-0,60*	0,76*
Álcali efetivo	-0,81*	0,82*	0,44*	-0,72*
Viscosidade	0,65*	-0,75*	-0,47*	0,71*

*correlação significativa a nível de 95% de significância.

Fonte: a autora

A densidade básica da madeira não obteve correlação com nenhuma característica do ambiente, estando nesse estudo correlacionada com o teor de lignina da madeira (Tabela 12). De acordo com Gomide et al. (2005), a densidade da madeira representa o somatório de diversas características do material, incluindo a constituição química e morfológica da madeira. Segundo os autores Moura e Figueiredo (2002) e Borralho et al. (2003) a densidade apresenta alto grau de herdabilidade, podendo ser controlada até certo ponto, pela seleção ou pelo manejo silvicultural. Nesse estudo como as amostras sofreram as mesmas condições de manejo, a herança genética foi de maior influência no resultado.

Foi observada correlação significativa do rendimento, do álcali efetivo e da viscosidade com todas as características do ambiente. O déficit hídrico correlacionou negativamente com o rendimento e a viscosidade da polpa, ou seja, a medida que aumentou o déficit hídrico, diminuiu o rendimento e a viscosidade da polpa, o contrário acontecendo obviamente com a precipitação. Já o álcali efetivo se correlacionou positivamente com o déficit hídrico, o que ocorre pelo fato do déficit hídrico provocar o aumento de extrativos na constituição química da madeira, fazendo com que essa madeira demande maior teor de álcali na polpação, tal fato é comprovado pela correlação significativa entre o álcali efetivo e o teor de extrativos, demonstrado na Tabela 12. Os extrativos além de consumir reagentes também afeta a impregnação na etapa de polpação, gerando essa correlação positiva com a demanda de álcali. Além disso, o álcali efetivo exerce forte influência nos resultados de rendimento e viscosidade, obtendo correlação negativa de 0,85 e 0,76, respectivamente com as variáveis, consequência da maior degradabilidade ocasionada na polpa com o aumento do teor de álcali.

O rendimento da polpação é um parâmetro de avaliação de qualidade da madeira para produção de celulose, esse que comumente correlacionado com a densidade da madeira, entretanto nesse estudo e de acordo com Mokfienski et al. (2003), Gomide et al. (2010) e Santos et al. (2012), as análises estatísticas não constataam correlação significativa entre a densidade básica e o rendimento de polpação. O rendimento se correlacionou significativamente com os teores de celulose, hemiceluloses, extrativos e lignina, onde com o aumento desses teores ocorre a diminuição do rendimento. Semelhante ao encontrado nesse trabalho, Tolfo et al. (2005) e Perez (2002) reportaram correlações negativas entre rendimento e lignina. A correlação do extrativos e da lignina com o rendimento, podem estar ligados pelos fatos desses compostos consumirem reagentes, além de dificultar a impregnação, consequentemente reduzindo o rendimento em produção de celulose. A correlação negativa do rendimento com as hemiceluloses, pode ser explicado por esses compostos serem carboidratos de menor grau de polimerização, serem amorfos, possuírem maior número de grupos funcionais e por isso serem de mais fácil degradação na polpação kraft, contudo eles contribuem com o rendimento final.

Tabela 12: Correlação entre as variáveis de constituição química extrativos e lignina da madeira e da densidade básica com o rendimento total, álcali efetivo e viscosidade.

Variáveis	Celulose	Hemiceluloses	Extrativo	Lignina	Densidade	Álcali efetivo
Densidade	0,40*	0,08	0,27	-0,42*	-	0,04
Rendimento	0,79*	-0,73*	-0,54*	-0,41*	0,17	-0,85*
Álcali efetivo	-0,78*	0,71*	0,74*	0,28	0,04	1

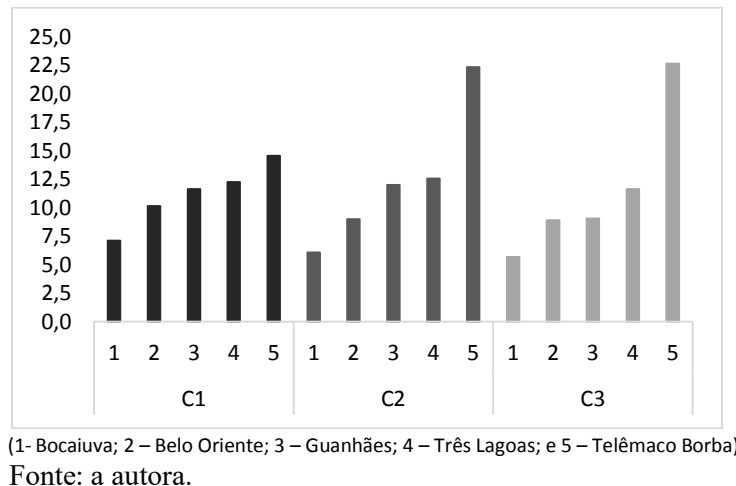
*Correlações significativas, a 5% de probabilidade

Fonte: a autora

3.8. Indicadores de produção

O índice IMACel é a variável utilizada para quantificar a produtividade de celulose por área, é um parâmetro utilizado pelas fábricas de celulose para avaliação dos custos de produção, esse parâmetro mensura a quantidade de celulose que pode ser produzida com base na produtividade florestal, é uma função direta do IMA florestal com o rendimento de polpação e a densidade básica da madeira. Na Figura 16 estão expostos os valores encontrados nesse estudo para IMACel.

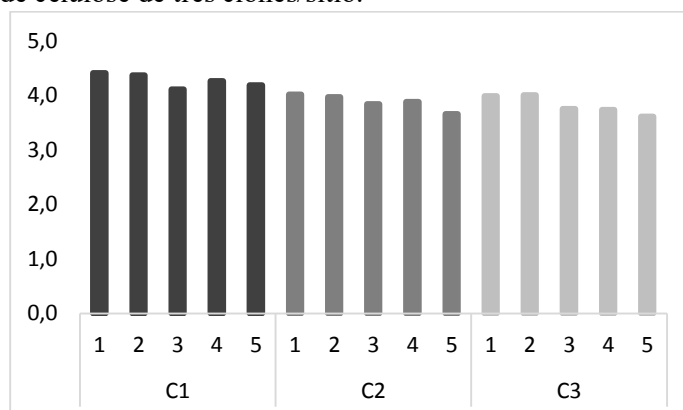
Figura 16: Incremento médio anual de celulose de três clones/sítio



Os valores encontrados para IMACel apresentaram variação de 5,7 a 22,7 ton/ha/ano. Pelo gráfico notamos que os resultados encontrados para as regiões seguiram uma mesma tendência entre os clones, em que os maiores resultados foram encontrados na região de Telêmaco Borba, com média entre os clones de 19,9 ton/ha/ano, depois Três Lagoas com 12,2 ton/ha/ano, Guanhães, 10,9 ton/ha/ano, Belo Oriente, 9,4 ton/ha/ano e com menores resultados a região de Bocaiuva com média de 6,3 ton/ha/ano. A região de Telêmaco Borba apresentou grande destaque de produção nos clones C2 e C3, apresentando IMACel de 22,3 e 22,7 ton/ha/ano, respectivamente, resultado extrapolado devido à elevada produtividade florestal da região (94 m³/ha/ano) e também pelos altos rendimentos encontrados nos clones, rendimento depurado de 54,6% para o clone C2 e 53,8% para o C3. O clone C2 apresentou maiores resultados em relação aos outros dois clones nas regiões de Três Lagoas e Guanhães e nas regiões de Bocaiuva e Belo Oriente o clone C1 apresentou valores de IMACel maiores.

O consumo específico é outro indicador de produção de celulose que avalia o consumo de madeira necessário para produzir uma tonelada de celulose seca, é influenciado pela densidade básica e os rendimentos de polpação e branqueamento. Na Figura 17 são observados os valores de consumo específico de cada clone nas cinco regiões.

Figura 17: Consumo específico de madeira para produção de celulose de três clones/sítio.



(1 - Bocaiuva; 2 - Belo Oriente; 3 - Guanhães; 4 - Três Lagoas; e 5 - Telêmaco Borba)

Fonte: a autora.

A densidade básica teve maior influência no consumo específico geral de cada clone, sendo o clone C1, que apresenta menor densidade, aquele que apresentou maior consumo específico para todas as regiões ($4,3 \text{ m}^3/\text{ton.cel}$), os demais clones C2 e C3 apresentaram média entre as regiões de consumo específico bem próximos, devido à pouca diferença entre as densidades e os demais fatores envolvidos, sendo a média encontrada para o clone C3 de $3,8 \text{ m}^3/\text{ton.cel}$ e o clone C2 média de $3,9 \text{ m}^3/\text{ton.cel}$. Já entre as regiões a densidade não apresentou influência, devido a sua pouca variação entre elas dentro do clone. A variação ocorreu devido a diferença entre os rendimentos da polpação em cada região para cada clone. Os clones C2 e C3 se comportaram de forma semelhante entre as regiões, apenas nas regiões de Guanhães e Três Lagoas o clone C3 apresentou ligeiramente menor consumo que o clone C2, diferença de $0,10 \text{ m}^3/\text{ton.cel}$. Já o clone C1 apresentou valores superior de consumo específico em todas as regiões.

4. CONCLUSÃO

O sítio apresentou efeito na densidade básica da madeira dos clones de eucalipto.

O sítio apresentou efeito no processo de produção da polpa celulósica branqueada, tendo efeito na polpação kraft, afetando a demanda de álcali efetivo, este que reflete nos resultados de rendimento, viscosidade, teor de sólidos e na branqueabilidade das polpas.

O sítio apresentou baixo efeito nas propriedades morfológicas das polpas branqueadas.

O sítio apresentou efeito nas propriedades físico-mecânicas das polpas branqueadas produzidas.

As características meteorológicas e de produtividade do ambiente apresentaram correlações significativas com os parâmetros de rendimento, demanda de álcali efetivo e viscosidade. E não apresentaram correlação significativa com a densidade básica da madeira.

O rendimento e a demanda de álcali efetivo apresentaram correlação significativa negativa com os teores de extrativos e lignina da madeira.

O sítio apresentou efeito nos indicadores de produção IMACel e consumo específico, onde a produtividade florestal apresentou grande influência nos indicadores.

CONCLUSÃO GERAL

O sítio apresenta efeito nas características químicas das madeiras, como teor de carboidratos, extrativos, cinzas e metais e na relação S/G da lignina. Não apresentou efeito no conteúdo de lignina e ácidos urônicos, como também não apresentou efeito nas propriedades térmicas da madeira.

O sítio apresentou efeito no processo de produção de polpa celulósica, nas etapas de polpação e branqueamento. Também apresentou efeito nas propriedades físico-mecânicas e morfológicas da polpa branqueada produzida.

Os indicadores de produção, IMAcel e Consumo específico de madeira, foram influenciados pelo sítio, principalmente pelo incremento médio anual encontrado em cada região estudada.

A região de Telêmaco Borba em geral se destacou positivamente na maioria dos parâmetros para a produção de celulose e a região de Bocaiúva se destacou negativamente.

Os clones C2 e C3 apresentaram desempenho superior na região de Telêmaco Borba. Nas regiões de Três lagoas e Guanhães aos clones C1 e C2 apresentaram desempenho semelhante e superior ao clone C3. Já nas regiões de Bocaiúva e Belo Oriente o clone C1 apresentou melhor comportamento. Podendo esse ser mais resistente a condições restritas de crescimento.

REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 11941**. Madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 6 p., 2003.
- ALVES, I. C. N., GOMIDE, J. L., COLODETTE, J. L., & SILVA, H. D. D. Caracterização tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de celulose Kraft. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 1, p. 167-174, 2011.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – **ASTM**. Standard methods of evaluating properties of wood-base fiber and particles materials. Philadelphia: 1982.
- ANDRADE, M. F., COLODETTE, J. L., BATALHA, L. A. R. Extração alcalina convencional e oxidativa. In: COLODETTE, J.L., GOMES, F.J.B. (Ed.). **Branqueamento de Polpa Celulósica**. Editora UFV. Viçosa. p. 315-352. 2015.
- ANPUTHAS, M.; SAMITA, S.; ABEYSIRIWARDENA, D. S. D. Z. Stability and adaptability analysis of rice cultivars using environment-centered yield in two-way ANOVA model. **Communications in Biometry and Crop Science** Vol. 6, N. 2, 2011, pp. 80–86.
- ASSIS, T. F. de; ABAD, J. I. M.; AGUIAR, A. M. Melhoramento genético do eucalipto. **Informe Agropecuário, Belo Horizonte (Brazil)**, v. 18, p. 32-51, 1996.
- BARBOSA, B. M., COLODETTE, J. L., CABRAL, C. P. T., GOMES, F. J. B., & SILVA, V. L. Efeito da fertilização na qualidade da madeira de *Eucalyptus* spp. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 101, p. 29-39, 2014.
- BIAZUS, A.; HORA, A. B. da; LEITE, B. G. P. Panorama de mercado: celulose. **BNDES Setorial**, n. 32, p. 311-370, set. 2010.
- BORRALHO, N.M.J.; ARAUJO, J.A.; RAFAEL, J.; MENDES DE SOUSA, A.P. Importance of site characteristics, Forest management and genetics on the quality of eucalyptus wood for pulp and paper production. **Proceedings of the 28th EUCEPA conference**. Sustainable Development. p 214 – 218. Lisboa 2-4 abril, 2003.
- BOVY, A. G.; GOMEZ-ROLDÁN, V.; HALL, R.D. Strategies to optimize the flavonoid content of tomato fruit. In: SANTOS-BUELGA, C.; ESCRIBANO-BAILON, M.T.; LATTANZIO, V. (Eds.). **Recent Advances in Polyphenol Research**. Vol. 2. 352 p. Chichester: Wiley-Blackwell, 2010.
- BRAWNER, J. T.; MEDER, R.; DIETERS, M.; LEE, D. J. Selection of *Corymbia citriodora* for pulp productivity. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, v. 74, n. 2, p. 121–131, 2012.
- CAMARGO, S. K. D. C. A., DA SILVA, T. J., & DE MOURA C., D. Influência da dimensão e qualidade dos cavacos na polpação. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 813-820, 2015.
- CARVALHO, D. M. de; SILVA, M. R. da; COLODETTE, J. L. Estudo da branqueabilidade da polpa kraft de eucalipto. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 1, p. 185-197, 2015.
- CARVALHO, H.G. Efeito da idade de corte da madeira e de variáveis de refino nas propriedades da celulose kraft branqueada de eucalipto. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 1997.
- CARVALHO, M. G.; FERREIRA, P. J.; MARTINS, A.A.; FIGUEIREDO, M. M. A comparative study of two automated techniques for measuring fiber length. **TAPPI Journal**, v. 80, n.2, p. 137-142, 1997.
- CASARIN, R. Demanda de países emergentes por papel impulsiona a produção no Brasil. **DCI- Diário Comércio Indústria & Serviços**. São Paulo, Abril de 2018. Disponível em:

<https://www.dci.com.br/industria/demanda-de-paises-emergentes-por-papel-impulsiona-a-producao-no-brasil-1.697472/3.297333>. Acesso em: 18 de julho de 2019.

CASTRO, V. R. **Efeitos do potássio, sódio e da disponibilidade hídrica no crescimento e qualidade do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden**. 2014, 142f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

CHAKAR, F. S.; ALLISON, L.; RAGAUSKAS, A. J.; MCDONOUGH, T. J.; SEZGI, U. S. Influence of hexenuronic acids on U.S. bleaching operations. **Tappi Journal**, v. 83, n. 11, p. 62-68, 2000.

CHRISTINA, M.; NOUVELLON, Y.; LACLAU, J. P.; STAPE, J. L.; BOUILLET, J. P.; LAMBAIS, G. R.; LE MAIRE, G. Importance of deep water uptake in tropical eucalypt forest. **Functional Ecology**, v. 31, p. 509-519, 2017.

COLODETTE, J. L. Nota técnica: Qualidade da madeira: elemento chave para a produção de polpa de eucalipto de alto rendimento e branqueabilidade. **O Papel**. v. 75, n. 6, p. 62, 2014.

COLODETTE, J. L.; GOMES, A. F.; MAGATON, A. Avaliação da relação Sirngila/Guaiacila da lignina de madeiras de eucalipto da Cenibra. Viçosa: Laboratório de Celulose e Papel, 224 p. (**Relatório Técnico #0018-2005, LCP/SIF/UFV**), 2005.

COLODETTE, J. L.; GOMIDE, J. L.; GLEYSYS, K.; KOGAN, J.; JAASKELAINEN, A. S.; ARGYROPOULOS, D. Yield and bleachability of hardwood and softwood kraft/ polysulphide pulps. **Pulp & Paper Canada**, v.102, n. 9, p. 269 – 272, 2001.

COLODETTE, J.L.; GOMES, F. J. B. Produção e composição das polpas não branqueadas. In: COLODETTE, J.L.; GOMES, F. J. B. (Ed). **Branqueamento de Polpa Celulósica**. Editora UFV. Viçosa. p. 59 - 153. 2015.

COLODETTE, J.L.; GOMES, V.J. Estágio ácido para remoção de ácidos hexenurônicos. In: COLODETTE, J.L., GOMES, F.J.B. (Ed.). **Branqueamento de Polpa Celulósica**. Editora UFV. Viçosa. p. 315-352. 2015.

COLODETTE, J.L.; GOMIDE, J. L.; CARVALHO, D. M. Composição química de materiais lignocelulósicos. In: COLODETTE, J.L.; GOMES, F. J. B. (Ed). **Branqueamento de Polpa Celulósica**. Editora UFV. Viçosa. p. 33 - 58. 2015.

COLODETTE, J.L.; GOMIDE, J.L.; ARGYROPOULOS, D.S.; ROBLES, Y.A.M.; ALMEIDA, J.M.; MEHLMAN, S.K.; BRITO, A.G.H. Effect of pulping process on bleachability with ECF, Z-ECF and TCF bleaching. **Appita Journal**, Carlton, v.52, n.5, p.368-374, 1999.

CONESA, J. A. et al. Analysis of different kinetic models in the dynamic pyrolysis of cellulose. **Thermochimica Acta**, v.254, n.1, p.175-192, 1995.

COSTA, J. A. **Qualidade da madeira de *Eucalyptus urograndis*, plantado no Distrito Federal, para produção de celulose kraft**. Dissertação de Mestrado em Ciência Florestal, Publicação PPGEFL.DM-153/2011. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 86p. 2011

COSTA, M. M.; COLODETTE, J. L. The effect of kraft pulp composition on its bleachability. In: TAPPI INTERNATIONAL PULP BLEACHING CONFERENCE, 2002, Portland. **Anais**. Portland, p. 195-213. 2002.

D’ALMEIDA, M. L. O. **Celulose e papel** - Tecnologia de fabricação do papel. 2. ed. São Paulo: SENAI-IPT. v. 2. 1988. 964p.

DAHLMAN, O.; MORCK, R.; LARSSON, P. T. Effects of TCF-bleaching on hemicelluloses. In: INTERNATIONAL PULP BLEACHING CONFERENCE, 1996, Washington. **Proceedings...** Washinton: Tappi, p. 371-376. 1996.

DANIEL, A. I. D., NETO, C. P., EVTUGUIN, D. V., SILVESTRE, A. J. D. Hexenuronic acid contents of *Eucalyptus globulus* Kraft pulps: variation with pulping condition and effect on ECF bleachability. **Tappi Journal**, Atlanta, v. 2, n. 5, p. 3-8, 2003.

DUARTE, A. P., BAPTISTA, C. Influence of pulping conditions on the bleachability of softwood kraft pulp. **Chemical Technology of Wood, Pulp and Paper 1**, Bratislava, Slovakia, 71-81. 2003.

DURATEX. Duratex e Lenzing anunciam joint venture para construção da maior linha industrial de celulose solúvel do mundo. **Site Duratex**, notícia. Disponível em: <https://www.duratex.com.br/pt/noticias/duratex-e-lenzing-anunciam-joint-venture-para-construcao-da-maior-linha-industrial-de-celulose-soluvel-do-mundo>. Acesso em: 18 de julho de 2019.

EVANGELISTA, R. C. **Impacto das mudanças climáticas na produtividade de eucalipto em duas regiões do Brasil**. Dissertação (Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

FANTUZZI NETO, H. **Qualidade da madeira de *Eucalyptus* spp. para produção de celulose kraft**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 112p.2012.

FARIA, B.de F. H. de. **Produção e avaliação tecnológica da polpa celulósica e papéis obtidos de misturas das madeiras de *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp.** Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Julho de 2016.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood, Chemistry, Ultrastructure, Reactions**. New York: Waster & Grugter, 1989, 613 p.

FOELKEL, C. Advances in eucalyptus fiber properties and paper products. III ICEP – 3rd **International Colloquium on Eucalyptus Pulp**, 4th-7th March, in Belo Horizonte, Brazil, 6pp. 2007.

FOELKEL, C. E. B. O processo de impregnação dos cavacos de madeira de eucalipto pelo licor Kraft de cozimento. Porto Alegre: ***Eucaliptus Online Book***, 2009.

FOELKEL, C.E.B. *Eucalyptus online book & newsletter*. São Paulo: **Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel**, 2009.

FRANCO, M. P. **Efeito da substituição do potássio pelo sódio em árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, visando a expansão das plantações florestais sob condições de estresse hídrico**. 2014. 200p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de Goiás, Piracicaba – SP, 2014.

FRANCO, M. P. **Plasticidade de árvores de *Eucalyptus grandis* no contexto das mudanças climáticas: interação do déficit hídrico e da fertilização no crescimento e qualidade do lenho das árvores**. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de Goiás, Piracicaba – SP, 2018.

GARCIA, S.L.R. **Importância das características de crescimento, de qualidade da madeira e da polpa na diversidade genética de clones de eucalipto**. Viçosa, 1998. 100p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa

GHAREHKHANI, S.; SADEGHINEZHAD, E.; KAZI, S. N., YARMAND, H.; BADARUDIN, A., SAFAEI, M. R.; ZUBIR, M. N. M. Basic effects of pulp refining on fiber properties- A review. **Carbohydrate polymers**, v. 115, n. 1, p. 785-803, 2015.

GOMES, F. J. B.; COLODETTE, J. L.; BURNET, A.; BATALHA, L. A. R.; SANTOS, F. A.; DEMUNER, I. F. Thorough Characterization of Brazilian New Generation of Eucalypt Clones and Grass for Pulp Production. **International Journal of Forestry Research**, v. 2015, p. 1–10, 2015.

GOMIDE, J. L. Polpa de celulose – Química dos processos alcalinos de polpação. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 50p. 1979.

GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C.; GIRARD, R.; ARGYROPOULOS, D. Fatores que afetam a branqueabilidade de polpas kraft de *Eucalyptus* 2: influência de parâmetros da polpação. **O Papel**, p. 61 – 70, 2000.

GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J.; OLIVEIRA, R. C., SILVA, C. M. L. 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.; DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina na madeira: método Klason modificado. **O Papel**, v.47, n.1, p.36-38, 1986.

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, MG, v.34, n.2, p.339-344, mar./abr. 2010.

In: COLODETTE, J.L., GOMES, F.J.B. (Ed.).

GOMIDE, J.L.; GOMES, F.J.B. Polpas químicas para papel. **Branqueamento de Polpa Celulósica**. Editora UFV. Viçosa. p. 61-11. 2015.

GONÇALEZ, J. C.; VIEIRA, F. S.; CAMARGOS, J. A. A.; ZERBINI, N. J. Influência do sítio nas propriedades da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Cerne**, Lavras, v. 15, n. 2, p.251-255, abr./jun. 2009.

GONSAGA, R. F., DE ARAUJO, M. J., VALDOVINOS, T. M., DE SOUZA, J. V. O., & DE PAULA, R. C. Atualidades em Melhoramento Genético Florestal. **Tópicos Especiais em Genética Aplicada**, p. 21. 2016.

GOUVÊA, A. de F. G.; TRUGILO, P. F.; COLODETTE, J. L.; LIMA, J. T.; SILVA, J. R. M. da; GOMIDE, J. L. Avaliação da madeira e da polpação kraft em clones de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 33, n. 6, p. 1175 – 1185, 2009.

GOUVEA, A. de F. G; GOMES, C. M.; MATOS, L. M.; SOUZA, T. A.; KUMABE, F. J. B.; BENITES, P. K. R. M. Efeito do sítio nas características tecnológicas da madeira de *Eucalyptus* para produção de celulose kraft. **Ciência da Madeira** (Braz. J. Wood Sci.), Pelotas, v. 03, n. 02, p. 102-115, Novembro de 2012.

GRACE, T. M.; KOCUREK, M. J.; MALCOLM, E. (Ed.). Process variables. **Alkaline pulping**. 3rd. ed. Montreal: Canadian Pulp and Paper Association, 1989a. chap. 5, p. 74-113.

GRANDE, J. P. Dimensões de cavacos industriais de eucalipto e relações com polpação, resistência e morfologia de fibras na polpa. 2012.

HAMILTON, M. G.; FREEMAN, J. S.; BLACKBURN, D. P.; DOWNES, G. M.; PILBEAM, D. J.; POTTS, B. M. Independent lines of evidence of a genetic relationship between acoustic wave velocity and kraft pulp yield in *Eucalyptus globulus*. **Annals of Forest Science**, v. 74, n. 1, p. 17, 2017.

HINCHEE, M., BASSA, A. G. M. C., ROTTMANN, W., CHANG, S., KWAN, B. Biotech enhanced levels of syringyl lignin improves *Eucalyptus* pulping efficiency. **5th International Colloquium on Eucalyptus Pulp**, May 9-12. Porto Seguro, Bahia, Brazil. 2011.

IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. Relatório Anual. Relatório 2017. São Paulo, 2017.

IPEF. Programa Cooperativo TECHS-IPEF, Tolerância de *Eucalyptus* Clonais aos Estresses Hídrico, Térmico e Biótico. **Relatório Final** – 2012-2018. 330p. 2019.

JARDIM, J. M., GOMES, F. J. B., COLODETTE, J. L., & BRAHIM, B. P. Avaliação da qualidade e desempenho de clones de eucalipto na produção de celulose. **O papel**, v. 78, n. 11, p. 122-129, 2017.

Jl, Y., VANSKA, E., HEINNINGEN, A. Rate determining step and kinetics of oxygen delignification. **Pulp & Paper Canada**, v. 110, n.3, p. 29-35, 2009.

KARLSSON, H. **Fibre Guide**: Fibre analysis and process applications in the pulp and paper industry. Sweden: Lorentzen & Wettre, 120 p. 2006.

KEREKES, R. J; OLSON, J. A. Perspectives on Fibre Length Reduction in Refining. In: PIRA INTERNATIONAL REFINING CONFERENCE AND EXHIBITION. 7., Stockholm, 2003. **Proceedings...** Stockholm: PIRA, 2003.

KITAYAMA, K.; SUZUKI, S.; HORI, M.; TAKYU, M.; AIBA, S. I.; MAJALAP-LEE, N.; KIKUZAWA, K. On the relationships between leaf-litter lignin and net primary productivity in tropical rain forests. **Oecologia**, Berlin, v. 140, n. 2, p. 335-339, June 2004.

LEGOAS, R. C. **Efeito do potássio e do sódio no crescimento e nas propriedades do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* sob duas condições de regime hídrico**. 2015. 138p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

LIM, S.Y.; DENCE, C.W. **Methods in lignin chemistry**. Berlin: Springer-Verlag, 578p. 1992.

LOBO, R. C.; JÚNIOR, H. F. de O. Efeitos do estresse hídrico nas características morfológicas de plântulas de *Eucalyptus grandis* W. (Hill ex. Maiden). **Revista da União Latino-americana de Tecnologia**, Jaguariáiva, n.3, p. 09-25, 2015.

MARTIN, C. Eficiência energética. **O Papel**. Setembro, p. 32-38, 2013.

MARTINO, D. C.; COLODETTE, J.L. Deslignificação com oxigênio. In: COLODETTE, J.L., GOMES, F.J.B. (Ed.). **Branqueamento de Polpa Celulósica**. Editora UFV. Viçosa. p. 269-312. 2015.

MELO, J. R. D., MEDEIROS, J. F., MARQUES, R. G., & ANDRADE, A. A. D. (2011). Estudo das características do licor negro. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 3, n. 1, p. Páginas 1-11, 2011.

MILAGRES, F. R.; GOMIDE, J. L.; MAGATON, A.; NETO, H. F. Influência da idade na geração de modelos de espectroscopia NIR, para predição de propriedades da madeira de *Eucalyptus spp*. **Revista Árvore**, v. 37, n. 6, p. 1165–1173, 2013.

MOKFIENSKI, A. **Importância relativa da densidade básica e da constituição química de madeira de *Eucalyptus spp*. no rendimento, branqueabilidade e qualidade da polpa kraft**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade de Viçosa, Minas Gerais, 153 p. 2004.

MOKFIENSKI, A.; GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, C. Importância da densidade e do teor de carboidratos totais da madeira de eucalipto no desempenho da linha de fibra. **Colóquio internacional sobre celulose Kraft de Eucalipto**, v. 1, p. 15-38, 2003.

MORAIS, P. H. D. **Efeito da idade da madeira de eucalipto na sua química e polpabilidade, e branqueabilidade e propriedades físicas da polpa**. Dissertação (Pós – graduação em Agroquímica), Universidade Federal de Viçosa, 2008.

MOREIRA, E. **Efeito da lixiviação ácida de cavacos de eucalipto no processo Kraft**. 2006. 127 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa 2006.

MOURA, M.J. e FIGUEIREDO, M.M. 2002. Estudos de Variabilidade numa árvore de *Eucalyptus globulus*. **O Papel**. Junho/2002: 71-79.

MULLER-HAGEDORN, M; BOCKHORN, H.; KREBS, L.; MULLER, U. A comparative kinetic study on the pyrolysis of three different wood species. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, New York, v.68, n. 1, p. 231-249, 2003.

NUGROHO, D. D. P. **Low consistency refining of mixtures of softwood & hardwood bleached kraft pulp: effects of refining power**. 2012. 57 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Celulose e Papel) - School of Environment, Resources and Development, Asian Institute of Technology, Indonésia, 2012.

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

OLIVEIRA, R. L. **A influência da madeira na branqueabilidade e estabilidade de alvura de polpas Kraft de eucalipto**. Viçosa, 2004. Dissertação de Mestrado- Universidade Federal de Viçosa. 2004.

OLIVRE. Mapa aprova plano que deve ampliar a área de produção florestal em 2 mi de hectares. Agro & Tec. **Metrópoles**. Publicado em 05 de junho de 2019. Disponível em: <https://olivire.com.br/mapa-aprova-plano-que-deve-ampliar-a-area-de-producao-florestal-em-2-mi-de-hectares>. Acesso em: 18 de julho de 2019.

PEDRAZZI, C. **Influência das xilanas na produção e nas propriedades de polpas de eucalipto para papéis**. Dissertação (Doutorado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 210p. 2009.

PEREZ, J.F.R. **Avaliação de procedências de *Eucalyptus globulus* segundo a qualidade de sua madeira para a produção de celulose**. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 93p. 2002.

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

RAYMOND, C. A.; MUNERI, A. Nondesctructive sampling of *Eucalyptus globulos* and *E. nitens* for wood properties. I. Basic density. **Wood Science and Technology**, New York, v. 35, n. 1-2, p. 27-39, abr. 2001.

RIBEIRO, A. Fibria to start operating plant expansion one month earlier. **Valor RI**. Abril de 2017. Disponível em: <https://www.valor.com.br/node/4925555>. Acesso em: 18 julho 2019.

RIBEIRO, N. M. RIBEIRO, Nayssa Martins. **Análise de uma instalação de vapor em uma indústria de papel e celulose**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2016.

SANTOS, C. R. **Métodos não-convencionais para determinação de celulose como parâmetro de seleção de árvores matrizes visando a produção de polpa kraft-AQ**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeira) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz-Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

SANTOS, G. A. dos. **Interação genótipos x ambientes para produtividade de híbridos multi-espécies de eucalipto no Rio Grande do Sul**. Tese doutorado em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná, 2012.

SANTOS, R. et al. Produção de polpa kraft a partir de madeira pré-hidrólizada de eucalipto. In: **ABTCP INTERNATIONAL PULP AND PAPER CONGRESS, 45; IBEROAMERICAN CONGRESS ON PULP AND PAPER RESEARCH**, São Paulo, 2012. Proceedings.... São Paulo: ABTCP, 2012.

SCANDINAVIAN PULP, Paper and Board Testing Committee. Stockholm, Sweden. 1998

SILVA, D. J.; GOMIDE, J. L.; ALMEIDA, J. M. Uso de surfactantes como auxiliar na remoção de extrativos hidrófobos de madeira de *Eucalyptus* na etapa de polpação kraft. In: **Congresso Anual de Celulose e Papel**. 2002.

SILVA, M. G. da. **Produtividade, idade e qualidade de madeira de *Eucalyptus* destinada à produção de polpa celulósica branqueada**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2011.

SILVA, R., HARAGUCHI, S. K.; MUNIZ, E. C.; RUBIRA, A.F. Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos. **Química Nova**, v.32, n.3, p.661-671, 2009.

SILVÉRIO, F. O., BARBOSA, L. D. A., GOMIDE, J. L., REIS, F. P., & PILÓ-VELOSO, D. Metodologia de extração e determinação do teor de extrativos em madeiras de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 30, n. 6, p. 1009-1016, 2006.

SIQUEIRA, J. L. D.; SILVA FILHO, L. L.; SECCOMBE, R. Branqueamento de polpa Kraft de eucalipto-O papel do peróxido de hidrogênio. **Colóquio internacional sobre celulose kraft de eucalipto**, 2003.

SIXTA, H.; SUSS, H.-U.; POTTHAST, A.; SCHWANNINGER, M.; KROTSCHKE, A.W. Pulp bleaching. In: SIXTA, H. (Ed.). **Handbook of pulp**. Weinheim: Wiley_VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, V.2, p.609-932. 2006.

SMOOK, G.A. (1990) Manual para técnicos de polpa e papel. 1. ed. Atlanta: Tappi Press, 396p. 1990.

SOARES, V. C. **Comportamento térmico, químico e físico da madeira e do carvão de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em diferentes idades**. 2011. 108p. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 2011.

SOUZA, R. de. Klabin deve investir R\$ 7,5 bilhões em nova fábrica no PR. **A Rede**. Agosto de 2018. Disponível em: <https://d.aredo.info/campos-gerais/224356/klabin-deve-investir-r-75-bilhoes-em-nova-fabrica-no-pr>. Acesso em: 18 de julho de 2019.

SJÖSTRÖM, E.; ALÉN, R. Analytical methods in wood chemistry, pulping and papermaking. New York: [s.n.], 316 p. 1999.

TAPPI TECHNICAL DIVISIONS AND COMMITTEES. TAPPI test methods. Atlanta: **Tappi** Technical, 46 p. 1998.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **T 220 sp-06**: Physical Testing of Pulp Handsheets. Atlanta: TAPPI. 2006.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **T 282 pm-07**: Hexeneuronic Acid Content of Chemical Pulp. Atlanta: TAPPI. 2007.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **T236 cm-85**: kappa number of pulp. Atlanta: Tappi Press, 1997. 3 p.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **T248 sp-08**, Laboratory beating of pulp (PFI mill method). Atlanta: TAPPI. 2008.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **T403 om-02**, Bursting strength of pulp. Atlanta: TAPPI. 2002.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **T410 om-08**, Grammage of paper and paperboard (Weight per unit area). Atlanta: TAPPI. 2008.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **T414 om-04**, Internal tearing resistance of paper (Elmendorftype method). Atlanta: TAPPI. 2004.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **T494 om-06**, Tensile properties of paper and paperboard (using constant rate of elongation apparatus). Atlanta: TAPPI. 2006.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **T536 om-07**, Resistance of paper to passage of air (Highpressure Gurley method). Atlanta: TAPPI. 2007.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **T551 om-06**, Thickness of paper and paperboard (Soft platen method). Atlanta: TAPPI. 2006.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **T625cm-85**: Analysis of Soda and Sulfate Black Liquor. 1989.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **T650 om-89**: Solids content of black liquor. 1989.

TOLFO, A. L. T.; DE PAULA, R. C.; BONINE, C. A. V.; BASSA, A.; DO VALLE, C. F. Parâmetros genéticos para caracteres de crescimento, de produção e tecnológicos da madeira em clones de *Eucalyptus* spp. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, n. 67, p. 101-110, 2005.

VENTORIM, G., OLOVEIRA, K. D., COLODETTE, J. L., COSTA, M. M. Influência do número kappa, dos ácidos hexenurônicos e da lignina no desempenho da deslignificação com oxigênio. **Scientia Forestalis**. n. 71, p. 87-97, agosto 2006.

YANG, H.; YAN, R.; CHEN, H.; LEE, D. H.; ZHENG, C. Characteristics of hemicellulos, cellulose and lignin pyrolysis. **Fuel**, London, v. 86, n. 12-13, p. 1781-1788, Aug. 2007.

ZANUNCIO, A. J. V.; COLODETTE, J. L.; GOMES, F. J. B.; CARNEIRO, A. de C. O.; VITAL, B. R. Composição química da madeira de eucalipto com diferentes níveis de desbaste. **Ciência Florestal**, v.23, n.4, p. 755-760, 2013.

APÊNDICE A

Tabela 1: Resultados gerais caracterização química.

Clone	Região	Ext., %	Lignina, %		S/G, mol/mol	Ac. Urônicos, %	Cinzas, %	Metais, mg/kg
			Sol.	Ins.				
C1	1	3,42	3,92	26,13	2,65	5,03	0,19	28,67
	2	1,74	4,00	26,18	3,02	5,26	0,18	20,01
	3	2,83	3,66	24,42	2,52	4,93	0,14	35,70
	4	1,15	4,00	24,86	2,47	4,99	0,14	38,02
	5	0,93	3,59	26,07	2,54	4,91	0,14	31,91
C2	1	2,54	3,73	24,97	2,74	4,94	0,18	22,45
	2	2,40	3,83	25,72	2,69	5,21	0,15	26,84
	3	2,59	3,63	24,19	2,70	4,44	0,13	22,30
	4	1,35	3,92	24,30	2,67	4,87	0,15	39,91
	5	0,78	3,79	25,39	2,59	4,71	0,16	33,64
C3	1	2,23	3,72	25,17	2,89	5,30	0,17	24,66
	2	3,54	3,69	25,22	2,63	5,51	0,16	18,70
	3	3,22	3,68	23,38	3,00	4,65	0,14	24,93
	4	1,95	3,32	24,84	2,47	5,26	0,15	39,89
	5	1,11	4,11	24,01	2,61	4,75	0,15	33,03

Fonte: a autora

APÊNDICE B

Tabela 2: Resultados classificação cavacos dos três clones/região.

Clone	Região	Dimensão cavacos, mm					Dimensão cavacos, %						
		3	4	6	8	10	45	Casca fita	Casca picada	Finos	Lascas	Nós	Ponta de Tora
C1	1	32,85	33,77	10,29	3,49	1,46	0,00	0,01	0,01	0,62	4,57	2,20	10,72
	2	33,26	30,86	10,01	3,65	1,18	0,00	0,00	0,00	0,42	4,85	4,53	11,25
	3	36,72	32,51	9,96	2,72	1,27	0,00	0,00	0,01	0,98	6,05	4,57	5,20
	4	35,29	28,07	11,39	4,36	2,61	0,32	0,08	0,08	1,20	6,43	1,83	8,35
	5	36,10	24,17	11,03	3,63	3,14	0,18	0,29	0,36	1,02	6,37	4,23	9,49
Média		34,85	29,88	10,53	3,57	1,93	0,10	0,09	0,85	5,65	3,47	9,00	
=C2	1	38,16	29,31	10,12	2,74	1,00	0,00	0,20	0,35	0,66	5,58	2,51	9,37
	2	30,57	24,71	11,02	3,24	1,85	0,02	0,06	0,01	0,65	10,40	3,21	14,25
	3	34,62	31,24	10,98	4,02	1,67	0,08	0,00	0,01	0,81	6,14	3,75	6,68
	4	31,89	29,54	10,46	5,18	3,55	0,00	0,64	0,36	1,31	9,27	3,18	4,64
	5	31,95	23,53	11,61	4,48	2,25	0,32	0,21	0,82	0,63	5,90	3,90	14,40
Média		33,44	27,66	10,84	3,93	2,06	0,09	0,22	0,31	7,46	3,31	9,87	
C3	1	34,20	31,57	11,14	2,55	1,11	0,00	0,16	0,18	0,43	4,68	3,15	10,84
	2	33,33	25,66	7,90	2,55	1,29	0,00	0,00	0,02	0,37	7,95	6,28	14,64
	3	37,37	28,53	8,25	2,12	1,10	0,00	0,02	0,09	1,00	7,69	4,59	9,24
	4	29,68	33,61	14,22	4,05	2,68	0,00	0,29	0,24	0,18	7,14	3,47	4,43
	5	33,30	24,81	11,53	4,15	2,64	0,12	0,05	0,16	0,55	5,19	4,41	13,10
Média		33,58	28,84	10,61	3,09	1,76	0,02	0,14	0,51	6,53	4,38	10,45	

Fonte: a autora

Fonte: a autora

Tabela 3: Condições e resultados da etapa de cozimento kraft

Clone	Região	AE, %	Tempo, min	Temp., °C	Kappa	Rendimento, %			Licor Negro		TS, %	Visc.	Hexa
						Depurado	Rejeito	Total	AEr, g/L	pH			
C1	1	22,3	50/60	167	17,2	47,4	0,1	47,5	5,5	12,7	16,9	996,5	73,9
	2	20,6	50/60	166	17,0	48,5	0,2	48,8	5,5	12,8	16,1	982,5	71,9
	3	20,3	50/60	165	16,9	51,2	0,2	51,4	6,0	12,8	15,8	1042,5	68,8
	4	18,8	50/60	164	16,9	50,8	0,2	50,9	5,3	12,8	15,8	1108,0	71,3
	5	18,5	50/60	164	17,4	51,2	0,5	51,7	6,0	12,9	15,6	1058,0	70,9
C2	1	20,9	50/60	165	17,0	49,3	0,2	49,5	5,8	12,8	16,2	971,0	70,3
	2	19,6	50/60	165	16,9	50,0	0,3	50,3	5,5	12,7	15,9	963,0	70,8
	3	19,3	50/60	165	17,2	52,0	0,2	52,3	5,6	12,9	15,5	1065,0	64,1
	4	19,0	50/60	164	17,0	51,2	0,2	51,4	6,1	12,9	15,4	1075,0	68,2
	5	18,2	50/60	164	17,4	54,6	0,2	54,8	5,1	12,8	14,9	1158,0	69,9
C3	1	21,0	50/60	167	17,0	48,4	0,1	48,6	5,7	12,7	16,1	983,5	71,9
	2	21,4	50/60	167	17,1	48,9	0,1	49,1	6,3	12,7	15,9	910,0	69,3
	3	19,8	50/60	166	17,0	51,8	0,2	52,0	5,3	12,8	15,6	1085,0	66,4
	4	19,0	50/60	165	17,4	52,4	0,2	52,6	5,5	12,9	15,0	1076,0	69,2
	5	18,7	50/60	164	17,5	54,6	0,4	54,3	5,6	12,9	15,0	1087,0	71,1

Onde: AE: Alkali efetivo; Temp: temperatura; TS: teor de sólidos; Visc.: viscosidade; Hexa: ácidos hexenurônicos

Fonte: a autora

Tabela 4: Resultados gerais da pré-deslignificação com oxigênio.

Clone	Região	kappa de entrada	alvura entrada	visc. entrada	pH	kappa %	Alvura, %ISO	Rend., %	Selet.	Efic., %	Viscos., dm ³ /kg	Redução de kappa, %	Perda de visc., dm ³ /kg	Ganho de alvura, %ISO
C1	1	15,2	30,86	996,5	11,8	9,8	47,0	98,4	0,049	35,4	886,0	35,4	110,5	16,1
	2	15,6	33,67	982,5	11,8	9,2	51,7	97,6	0,054	39,0	864,0	40,8	118,5	18,0
	3	16,1	33,91	1042,5	11,9	9,6	49,0	98,1	0,043	39,2	890,5	40,6	152,0	15,1
	4	16,7	37,25	1108,0	11,8	10,3	50,7	98,9	0,031	37,9	902,5	37,9	205,5	13,5
	5	16,7	36,92	1058,0	11,8	10,7	49,4	98,5	0,030	35,9	857,0	35,9	201,0	12,5
C2	1	15,2	34,02	971,0	11,7	9,9	49,4	97,9	0,047	35,0	858,0	35,0	113,0	15,3
	2	15,5	33,97	963,0	11,7	9,8	49,9	98,9	0,048	36,9	843,0	36,9	120,0	16,0
	3	16,7	35,2	1065,0	11,7	9,7	50,2	98,4	0,049	39,1	923,0	42,0	142,0	15,0
	4	16,9	36,39	1075,0	11,8	10,2	51,5	98,6	0,032	39,4	864,5	39,4	210,5	15,1
	5	16,4	39,81	1158,0	11,8	10,7	50,8	98,3	0,022	34,9	895,0	34,9	263,0	11,0
C3	1	15,5	32,09	983,5	11,7	9,5	48,3	98,5	0,056	38,6	876,0	38,6	107,5	16,2
	2	14,5	30,61	910,0	11,7	8,5	49,4	98,6	0,055	39,0	801,5	40,9	108,5	18,8
	3	16,7	32,57	1085,0	11,8	10,2	47,0	99,6	0,056	38,9	940,0	38,9	145,0	14,4
	4	17,1	34,85	1076,0	11,7	10,3	50,2	98,9	0,042	39,5	935,5	39,5	145,5	15,3
	5	17,5	37,37	1087,0	11,7	11,0	49,4	98,9	0,036	37,3	903,5	37,3	183,5	12,0

Onde: Visc.: viscosidade; Rend: rendimento pré-O₂; Selet.:seletividade; Efic.:eficiência.

Fonte: a autora

Tabela 5: Resultado parâmetros avaliativos da etapa de branqueamento com a sequência D*(EP)D.

Clone	Região	Cloro ativo, kg/tsa	Branqueabilidade	Viscos., dm ³ /kg	Reversão de alvura, % ISO
C1	1	50,83	0,19	733,00	3,10
	2	49,04	0,19	726,00	2,27
	3	47,43	0,20	712,50	2,46
	4	50,00	0,24	776,00	2,36
	5	42,20	0,21	748,00	2,78
C2	1	60,03	0,16	703,00	2,76
	2	45,24	0,16	691,50	2,73
	3	47,50	0,20	784,00	2,17
	4	45,82	0,24	717,00	2,64
	5	43,05	0,23	753,00	2,61
C3	1	57,90	0,16	667,50	3,04
	2	51,75	0,16	671,00	2,71
	3	50,81	0,20	785,50	2,40
	4	53,49	0,24	757,50	2,29
	5	42,33	0,20	747,50	2,58

Onde: Viscos.: viscosidade

Fonte: a autora

Tabela 6: Resultados médios do branqueamento do clone C1 na região 1.

Condições e Resultados	C1 - REGIÃO 1					
	Do	EP	D1	D1	D1	D1- Inter.
Consistência, %	10	10	10	10	10	10
Tempo, min	120	60	120	120	120	120
Temperatura, °C	95	85	85	85	85	85
Fator kappa	0,2	-	-	-	-	-
H₂O₂, kg/t	-	5,0	-	-	-	-
NaOH, kg/t	-	10,0	-	-	-	-
H₂SO₄, kg/t	8	-	*	*	*	*
ClO₂ como ClO₂ kg/t	7,50	-	7	10	13	7,9
pH final	3	11	4,1	4	3,8	3,8
Consumo de Reagentes, %	100	88,9				100
Número Kappa	-	2,4	-	-	-	0,04
	-		-	-	-	
Média	-	2,4	-	-	-	0,04
Alvura A.D., % ISO	65,97	82,05	89,72	90,64	90,80	90,00
	65,98	81,87	-	-	-	90,00
Média	65,98	81,96	89,72	90,64	90,80	90,00
Reversão de Alvura, % ISO	-	-	-	-	-	86,8
	-	-	-	-	-	87,1
Média	-	-	-	-	-	86,9
Viscosidade (dm³/kg)	-	-	-	-	-	722
	-	-	-	-	-	744
Média	-	-	-	-	-	733

Fonte: a autora

Tabela 7: Resultados médios do branqueamento do clone C1 na região 2.

Condições e Resultados	C1 - REGIÃO 2					
	Do	EP	D1	D1	D1	D1- Inter.
Consistência, %	10	10	10	10	10	10
Tempo, min	120	60	120	120	120	120
Temperatura, °C	95	85	85	85	85	85
Fator kappa	0,2	-	-	-	-	-
H₂O₂, kg/t	-	5,0	-	-	-	-
NaOH, kg/t	-	10,0	-	-	-	-
H₂SO₄, kg/t	8	-	*	*	*	*
ClO₂ como ClO₂ kg/t	7,03	-	6	9	12	7,6
pH final	3,1	11,1	4,1	3,8	3,9	3,8
Consumo de Reagentes, %	100	84,9				100
Número Kappa	-	2,2	-	-	-	0,08
	-		-	-	-	
Média	-	2,2	-	-	-	0,08
Alvura A.D., % ISO	73,7	85,5	89,6	90,4	90,6	90,0
	73,9	85,5	-	-	-	90,0
Média	73,8	85,5	89,6	90,4	90,6	90,0
Reversão de Alvura, % ISO	-	-	-	-	-	88,7
	-	-	-	-	-	88,7
Média	-	-	-	-	-	88,7
Viscosidade (dm³/kg)	-	-	-	-	-	728
	-	-	-	-	-	724
Média	-	-	-	-	-	726

Fonte: a autora

Tabela 8: Resultados médios do branqueamento do clone C1 na região 3.

Condições e Resultados	C1 - REGIÃO 3					
	Do	EP	D1	D1	D1	D1- Inter.
Consistência, %	10	10	10	10	10	10
Tempo, min	120	60	120	120	120	120
Temperatura, °C	95	85	85	85	85	85
Fator kappa	0,2	-	-	-	-	-
H₂O₂, kg/t	-	5,0	-	-	-	-
NaOH, kg/t	-	10,0	-	-	-	-
H₂SO₄, kg/t	8	-	*	*	*	*
ClO₂ como ClO₂, kg/t	7,26	-	5	6	7	6,8
pH final	3,1	10,9	3,8	4,0	3,8	3,7
Consumo de Reagentes, %	100	85,2				100
Número Kappa	-	2,4	-	-	-	0,14
	-		-	-	-	
Média	-	2,4	-	-	-	0,14
Alvura A.D., % ISO	69,7	85,3	89,6	89,66	90,07	90,0
	70,3	85,3	-	-	-	90,0
Média	70,0	85,3	89,6	89,66	90,07	90
Reversão de Alvura, % ISO	-	-	-	-	-	87,4
	-	-	-	-	-	87,6
Média	-	-	-	-	-	87,5
Viscosidade (dm³/kg)	-	-	-	-	-	716
	-	-	-	-	-	709
Média	-	-	-	-	-	712,5

Fonte: a autora

Tabela 9: Resultados médios do branqueamento do clone C1 na região 4.

Condições e Resultados	C1 - REGIÃO 4					
	Do	EP	D1	D1	D1	D1- Inter.
Consistência, %	10	10	10	10	10	10
Tempo, min	120	60	120	120	120	120
Temperatura, °C	95	85	85	85	85	85
Fator kappa	0,2	-	-	-	-	-
H₂O₂, kg/t	-	5,0	-	-	-	-
NaOH, kg/t	-	10,0	-	-	-	-
H₂SO₄, kg/t	8	-	*	*	*	*
ClO₂ como ClO₂ kg/t	7,87	-	3	5	7	4,2
pH final	3,2	10,8	4,2	3,9	3,9	4,0
Consumo de Reagentes, %	100	85,7				100
Número Kappa	-	2,6	-	-	-	0,31
	-		-	-	-	
Média	-	2,6	-	-	-	0,31
Alvura A.D., % ISO	72,3	86,2	89,7	90,3	90,5	90,0
	72,3	86,3	-	-	-	90,0
Média	72,3	86,2	89,7	90,3	90,5	90,0
Reversão de Alvura, % ISO	-	-	-	-	-	87,7
	-	-	-	-	-	87,7
Média	-	-	-	-	-	87,7
Viscosidade (dm³/kg)	-	-	-	-	-	772
	-	-	-	-	-	780
Média	-	-	-	-	-	776

Fonte: a autora

Tabela 10: Resultados médios do branqueamento do clone C1 na região 5.

Condições e Resultados	C1 - REGIÃO 5					
	Do	EP	D1	D1	D1	D1- Inter.
Consistência, %	10	10	10	10	10	10
Tempo, min	120	60	120	120	120	120
Temperatura, °C	95	85	85	85	85	85
Fator kappa	0,2	-	-	-	-	-
H₂O₂, kg/t	-	5,0	-	-	-	-
NaOH, kg/t	-	10,0	-	-	-	-
H₂SO₄, kg/t	8	-	*	*	*	*
ClO₂ como ClO₂ kg/t	7,76	-	7	9	10	7,0
pH final	3,06	10,8	4	3,8	3,9	3,9
Consumo de Reagentes, %	100	85,5				100
Número Kappa	-	2,6	-	-	-	0,2
	-		-	-	-	
Média	-	2,6	-	-	-	0,2
Alvura A.D., % ISO	70,7	84,7	90,0	90,6	90,8	90,0
	70,9	84,9	-	-	-	90,0
Média	70,8	84,8	90,0	90,6	90,8	90,0
Reversão de Alvura, % ISO	-	-	-	-	-	87,2
	-	-	-	-	-	87,4
Média	-	-	-	-	-	87,3
Viscosidade (dm³/kg)	-	-	-	-	-	748
	-	-	-	-	-	748
Média	-	-	-	-	-	748

Fonte: a autora

Tabela 11: Resultados médios do branqueamento do clone C2 na região 1.

Condições e Resultados	C2- REGIÃO 1					
	Do	EP	D1	D1	D1	D1- Inter.
Consistência, %	10	10	10	10	10	10
Tempo, min	120	60	120	120	120	120
Temperatura, °C	95	85	85	85	85	85
Fator kappa	0,2	-	-	-	-	-
H₂O₂, kg/t	-	5,0	-	-	-	-
NaOH, kg/t	-	10,0	-	-	-	-
H₂SO₄, kg/t	8	-	*	*	*	*
ClO₂ como ClO₂ kg/t	7,52	-	4	6	8	5,7
pH final	3	10,8	4,0	4,0	3,9	3,8
Consumo de Reagentes, %	100	87,5	-	-	-	100
Número Kappa	-	2,4	-	-	-	0,13
	-		-	-	-	
Média	-	2,4	-	-	-	0,13
Alvura A.D., % ISO	69,48	83,78	88,93	90,19	90,62	90,0
	69,68	83,80	-	-	-	90,0
Média	69,58	83,79	88,93	90,19	90,62	90
Reversão de Alvura, % ISO	-	-	-	-	-	87,05
	-	-	-	-	-	87,02
Média	-	-	-	-	-	87,04
Viscosidade (dm³/kg)	-	-	-	-	-	704
	-	-	-	-	-	702
Média	-	-	-	-	-	703

Fonte: a autora

Tabela 12: Resultados médios do branqueamento do clone C2 na região 2.

Condições e Resultados	C2 - REGIÃO 2					
	Do	EP	D1	D1	D1	D1- Inter.
Consistência, %	10	10	10	10	10	10
Tempo, min	120	60	120	120	120	120
Temperatura, °C	95	85	85	85	85	85
Fator kappa	0,2	-	-	-	-	-
H₂O₂, kg/t	-	5,0	-	-	-	-
NaOH, kg/t	-	10,0	-	-	-	-
H₂SO₄, kg/t	8	-	*	*	*	*
ClO₂ como ClO₂ kg/t	7,45	-	7	11	15	11,4
pH final	3,0	10,9	3,7	3,8	4,0	3,2
Consumo de Reagentes, %	100	86,1				0,3 ml
Número Kappa	-	2,6	-	-	-	0,02
	-		-	-	-	
Média	-	2,6	-	-	-	0,02
Alvura A.D., % ISO	70,48	84,25	89,36	89,83	91,39	90,0
	70,57	84,26	-	-	-	90,0
Média	70,53	84,26	89,36	89,83	91,39	90,00
Reversão de Alvura, % ISO	-	-	-	-	-	87,94
	-	-	-	-	-	88,00
Média	-	-	-	-	-	87,97
Viscosidade (dm³/kg)	-	-	-	-	-	685
	-	-	-	-	-	698
Média	-	-	-	-	-	691,5

Fonte: a autora

Tabela 13: Resultados médios do branqueamento do clone C2 na região 3.

Condições e Resultados	C2 - REGIÃO 3					
	Do	EP	D1	D1	D1	D1- Inter.
Consistência, %	10	10	10	10	10	10
Tempo, min	120	60	120	120	120	120
Temperatura, °C	95	85	85	85	85	85
Fator kappa	0,2	-	-	-	-	-
H₂O₂, kg/t	-	5,0	-	-	-	-
NaOH, kg/t	-	10,0	-	-	-	-
H₂SO₄, kg/t	8	-	*	*	*	*
ClO₂ como ClO₂ kg/t	7,34	-	6	8	10	6,8
pH final	3,1	11,0	4	3,8	3,8	3,9
Consumo de Reagentes, %	100	85,7	-	-	-	100
Número Kappa	-	2,5	-	-	-	0,06
	-		-	-	-	
Média	-	2,5	-	-	-	0,06
Alvura A.D., % ISO	71,23	84,81	89,7	90,7	90,9	90,0
	71,02	84,79	-	-	-	90,0
Média	71,1	84,8	89,7	90,7	90,9	90,0
Reversão de Alvura, % ISO	-	-	-	-	-	87,83
	-	-	-	-	-	87,79
Média	-	-	-	-	-	87,8
Viscosidade (dm³/kg)	-	-	-	-	-	713
	-	-	-	-	-	721
Média	-	-	-	-	-	717

Fonte: a autora

Tabela 14: Resultados médios do branqueamento do clone C2 na região 4.

Condições e Resultados	C2 - REGIÃO 4					
	Do	EP	D1	D1	D1	D1- Inter.
Consistência, %	10	10	10	10	10	10
Tempo, min	120	60	120	120	120	120
Temperatura, °C	95	85	85	85	85	85
Fator kappa	0,2	-	-	-	-	-
H₂O₂, kg/t	-	5,0	-	-	-	-
NaOH, kg/t	-	10,0	-	-	-	-
H₂SO₄, kg/t	8	-	*	*	*	*
ClO₂ como ClO₂ kg/t	7,79	-	4	5	6	4,6
pH final	3,0	11,1	3,9	4,1	4	4,6
Consumo de Reagentes, %	100	86,9	-	-	-	100
Número Kappa	-	2,4	-	-	-	0,1
	-		-	-	-	
Média	-	2,4	-	-	-	0,1
Alvura A.D., % ISO	69,76	84,9	89,89	90,26	90,88	90,0
	69,97	84,9	-	-	-	90,0
Média	69,9	84,9	90,26	90,88	90,92	90,0
Reversão de Alvura, % ISO	-	-	-	-	-	88,06
	-	-	-	-	-	88,08
Média	-	-	-	-	-	88,1
Viscosidade (dm³/kg)	-	-	-	-	-	761
	-	-	-	-	-	766
Média	-	-	-	-	-	764

Fonte: a autora

Tabela 15: Resultados médios do branqueamento do clone C2 na região 5.

Condições e Resultados	C2 - REGIÃO 5					
	Do	EP	D1	D1	D1	D1- Inter.
Consistência, %	10	10	10	10	10	10
Tempo, min	120	60	120	120	120	120
Temperatura, °C	95	85	85	85	85	85
Fator kappa	0,2	-	-	-	-	-
H₂O₂, kg/t	-	5,0	-	-	-	-
NaOH, kg/t	-	10,0	-	-	-	-
H₂SO₄, kg/t	8	-	*	*	*	*
ClO₂ como ClO₂ kg/t	7,72	-	4	5	6	5,4
pH final	3,1	10,9	4,1	3,8	4,1	3,9
Consumo de Reagentes, %	100	85,2	-	-	-	100
Número Kappa	-	2,5	-	-	-	0,01
	-		-	-	-	
Média	-	2,5	-	-	-	0,01
Alvura A.D., % ISO	71,65	85,68	89,59	89,79	90,27	90,0
	71,69	85,71	-	-	-	90,0
Média	71,7	85,7	89,6	89,8	90,3	90,0
Reversão de Alvura, % ISO	-	-	-	-	-	87,69
	-	-	-	-	-	87,72
Média	-	-	-	-	-	87,7
Viscosidade (dm³/kg)	-	-	-	-	-	756
	-	-	-	-	-	750
Média	-	-	-	-	-	753

Fonte: a autora

Tabela 16: Resultados médios do branqueamento do clone C3 na região 1.

Condições e Resultados	C3 - REGIÃO 1					
	Do	EP	D1	D1	D1	D1- Inter.
Consistência, %	10	10	10	10	10	10
Tempo, min	120	60	120	120	120	120
Temperatura, °C	95	85	85	85	85	85
Fator kappa	0,2	-	-	-	-	-
H₂O₂, kg/t	-	5,0	-	-	-	-
NaOH, kg/t	-	10,0	-	-	-	-
H₂SO₄, kg/t	8	-	*	*	*	*
ClO₂ como ClO₂ kg/t	7,26	-	10	12	14	10,8
pH final	3	10,8	3,8	3,7	3,8	3,8
Consumo de Reagentes, %	100	87,8				100
Número Kappa	-	2,1	-	-	-	0,01
	-		-	-	-	
Média	-	2,1	-	-	-	0,01
Alvura A.D., % ISO	68,71	82,84	89,56	90,04	90,1	90,0
	68,82	82,79	-	-	-	90,0
Média	68,77	82,82	89,56	90,04	90,1	90
Reversão de Alvura, % ISO	-	-	-	-	-	88,02
	-	-	-	-	-	88,04
Média	-	-	-	-	-	88,03
Viscosidade (dm³/kg)	-	-	-	-	-	701
	-	-	-	-	-	706
Média	-	-	-	-	-	704

Fonte: a autora

Tabela 17: Resultados médios do branqueamento do clone C3 na região 2.

Condições e Resultados	C3 - REGIÃO 2					
	Do	EP	D1	D1	D1	D1- Inter.
Consistência, %	10	10	10	10	10	10
Tempo, min	120	60	120	120	120	120
Temperatura, °C	95	85	85	85	85	85
Fator kappa	0,2	-	-	-	-	-
H₂O₂, kg/t	-	5,0	-	-	-	-
NaOH, kg/t	-	10,0	-	-	-	-
H₂SO₄, kg/t	8	-	*	*	*	*
ClO₂ como ClO₂ kg/t	6,50	-	6	8	10	9,2
pH final	2,9	11,1	4	4	4	3,8
Consumo de Reagentes, %	100	86,5	-	-	-	100
Número Kappa	-	2,2	-	-	-	0,05
	-		-	-	-	
Média	-	2,2	-	-	-	0,05
Alvura A.D., % ISO	69,3	83,76	89,49	89,69	90,21	90,0
	69,27	83,78	-	-	-	90,0
Média	69,3	83,77	89,49	89,69	90,21	90
Reversão de Alvura, % ISO	-	-	-	-	-	88,19
	-	-	-	-	-	88,21
Média	-	-	-	-	-	88,2
Viscosidade (dm³/kg)	-	-	-	-	-	669
	-	-	-	-	-	673
Média	-	-	-	-	-	671

Fonte: a autora

Tabela 18: Resultados médios do branqueamento do clone C3 na região 3.

Condições e Resultados	C3 - REGIÃO 3					
	Do	EP	D1	D1	D1	D1- Inter.
Consistência, %	10	10	10	10	10	10
Tempo, min	120	60	120	120	120	120
Temperatura, °C	95	85	85	85	85	85
Fator kappa	0,2	-	-	-	-	-
H₂O₂, kg/t	-	5,0	-	-	-	-
NaOH, kg/t	-	10,0	-	-	-	-
H₂SO₄, kg/t	8	-	*	*	*	*
ClO₂ como ClO₂, kg/t	7,79	-	6	8	10	7,6
pH final	3	10,9	4,1	3,8	3,9	3,8
Consumo de Reagentes, %	100	86,2	-	-	-	100
Número Kappa	-	2,3	-	-	-	0,06
	-		-	-	-	
Média	-	2,3	-	-	-	0,06
Alvura A.D., % ISO	69,70	84,34	89,36	90,14	90,83	90,0
	69,68	84,36	-	-	-	90,0
Média	69,7	84,35	89,36	90,14	90,83	90
Reversão de Alvura, % ISO	-	-	-	-	-	87,70
	-	-	-	-	-	87,72
Média	-	-	-	-	-	87,71
Viscosidade (dm³/kg)	-	-	-	-	-	786
	-	-	-	-	-	795
Média	-	-	-	-	-	790,5

Fonte: a autora

Tabela 19: Resultados médios do branqueamento do clone C3 na região 4.

Condições e Resultados	C3 - REGIÃO 4					
	Do	EP	D1	D1	D1	D1- Inter.
Consistência, %	10	10	10	10	10	10
Tempo, min	120	60	120	120	120	120
Temperatura, °C	95	85	85	85	85	85
Fator kappa	0,2	-	-	-	-	-
H₂O₂, kg/t	-	5,0	-	-	-	-
NaOH, kg/t	-	10,0	-	-	-	-
H₂SO₄, kg/t	8	-	*	*	*	*
ClO₂ como ClO₂ kg/t	7,83	-	3	5	7	4,3
pH final	3	10,8	4,2	4,0	4,1	3,7
Consumo de Reagentes, %	100	86,2	-	-	-	100
Número Kappa	-	2,4	-	-	-	0,16
	-		-	-	-	
Média	-	2,4	-	-	-	0,16
Alvura A.D., % ISO	69,83	85,40	89,43	90,31	90,52	90,0
	69,85	85,54	-	-	-	90,0
Média	69,84	85,47	89,43	90,31	90,52	90
Reversão de Alvura, % ISO	-	-	-	-	-	87,90
	-	-	-	-	-	87,92
Média	-	-	-	-	-	87,91
Viscosidade (dm³/kg)	-	-	-	-	-	763
	-	-	-	-	-	752
Média	-	-	-	-	-	757,5

Fonte: a autora

Tabela 20: Resultados médios do branqueamento do clone C3 na região 5.

Condições e Resultados	C3 - REGIÃO 5					
	Do	EP	D1	D1	D1	D1- Inter.
Consistência, %	10	10	10	10	10	10
Tempo, min	120	60	120	120	120	120
Temperatura, °C	95	85	85	85	85	85
Fator kappa	0,2	-	-	-	-	-
H₂O₂, kg/t	-	5,0	-	-	-	-
NaOH, kg/t	-	10,0	-	-	-	-
H₂SO₄, kg/t	8	-	*	*	*	*
ClO₂ como ClO₂ kg/t	7,60	-	4	6	8	8,0
pH final	3,1	11,0	3,9	4	3,7	3,8
Consumo de Reagentes, %	100	84,9	-	-	-	100
Número Kappa	-	2,7	-	-	-	0,02
	-		-	-	-	
Média	-	2,7	-	-	-	0,02
Alvura A.D., % ISO	71,43	84,92	88,78	89,56	90,0	90,0
	71,47	84,9	-	-	-	90,0
Média	71,45	84,91	88,78	89,56	90	90
Reversão de Alvura, % ISO	-	-	-	-	-	86,96
	-	-	-	-	-	86,95
Média	-	-	-	-	-	86,96
Viscosidade (dm³/kg)	-	-	-	-	-	752
	-	-	-	-	-	743
Média	-	-	-	-	-	747,5

Fonte: a autora

Tabela 21: Medições complementares da análise morfológica das polpas marrons.

Clone	Região	Coarseness (mg/100m)	Número de fibras/ grama (milhões)	Comprimento de fibra (mm)	Teor de finos (%)	Comprimento dos Vasos (mm)	Largura dos Vasos (mm)	Nº de Vasos/ Grama x 104	Média de Ângulo de Dobras (°)	Número de Dobra/Fibra	Número de Dobras/mm
C1	1	5,01	2,619	0,717	4,10	0,315	0,1458	12,24	53,3	0,633	0,94
	2	4,48	2,847	0,747	3,70	0,3078	0,1376	10,6	52,4	0,551	0,79
	3	5,10	2,467	0,777	3,20	0,3192	0,1492	10,73	55	0,587	0,819
	4	5,37	2,636	0,755	3,30	0,3106	0,1347	10,24	53,7	0,601	0,852
	5	5,34	2,358	0,767	2,90	0,3131	0,1503	9,42	51,1	0,523	0,74
C2	1	4,84	3,123	0,648	3,00	0,2955	0,1412	12,14	46,5	0,452	0,732
	2	4,68	2,979	0,694	2,90	0,2928	0,1363	10,58	48,8	0,482	0,737
	3	5,22	2,597	0,715	2,80	0,3173	0,1497	10,48	49,8	0,503	0,795
	4	4,81	2,987	0,680	2,80	0,2956	0,1394	9,67	49,2	0,484	0,755
	5	5,21	2,469	0,751	2,80	0,3002	0,1479	8,32	51,3	0,526	0,753
C3	1	5,42	2,762	0,660	3,00	0,3143	0,1452	12,08	49,8	0,503	0,795
	2	5,20	2,730	0,687	2,70	0,2998	0,1376	9,93	48,9	0,46	0,708
	3	5,36	2,633	0,700	2,70	0,3301	0,1488	12,02	49,8	0,503	0,795
	4	5,68	2,445	0,717	2,50	0,322	0,1454	8,83	51,3	0,552	0,816
	5	5,27	2,182	0,844	3,00	0,3131	0,1433	9,22	51,3	0,526	0,753

Fonte: a autora

Tabela 22: Resultados de volume específico aparente, cm³/g, para os três clones/regiões.

Clone	Região	Nº de revoluções, rpm							
		0		500		1500		3000	
C1	1	2,01	ab	1,65	a	1,42	a	1,26	ab
	2	1,94	a	1,61	a	1,42	a	1,23	a
	3	2,20	bc	1,81	b	1,54	a	1,32	b
	4	1,97	a	1,72	ab	1,39	a	1,24	ab
	5	2,81	c	2,02	b	1,44	a	1,26	ab
C2	1	2,03	a	1,71	ab	1,46	a	1,29	ab
	2	2,16	ab	1,86	c	1,52	a	1,36	b
	3	2,21	b	1,77	bc	1,49	a	1,32	ab
	4	2,17	ab	1,82	bc	1,51	a	1,35	b
	5	2,62	c	1,65	a	1,50	a	1,24	a
C3	1	2,13	ab	1,73	a	1,46	a	1,30	b
	2	2,24	b	1,88	b	1,60	a	1,36	b
	3	2,09	a	1,86	ab	1,52	a	1,31	b
	4	2,30	b	1,91	bc	1,53	b	1,33	b
	5	2,03	a	2,02	c	1,37	a	1,19	a

(Região 1- Bocaiuva; 2 – Belo Oriente; 3 – Guanhães; 4 – Três Lagoas; e 5 – Telêmaco Borba). Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si pelo teste tukey ($P \leq 0,05$). Fonte: a autora

Tabela 23: Resultados de resistência a passagem de ar, s/100 cm³, para os três clones/regiões.

Clone	Região	Nº de revoluções, rpm							
		0		500		1500		3000	
C1	1	0,97	b	2,05	c	5,94	bc	37,70	b
	2	1,35	c	2,42	d	6,70	c	37,15	b
	3	0,59	a	1,02	a	3,30	a	19,00	a
	4	1,01	b	2,46	d	9,61	d	82,80	c
	5	0,61	a	1,33	b	5,37	b	38,69	b
C2	1	0,81	b	1,53	ab	4,85	a	35,8	b
	2	0,79	b	1,48	ab	4,24	a	26,7	a
	3	0,63	a	1,25	a	4,58	a	29,3	ab
	4	0,73	ab	1,58	b	4,81	a	29,7	ab
	5	0,66	a	1,93	c	6,76	b	58,4	c
C3	1	0,63	ab	1,17	b	4,9	b	29,2	a
	2	0,61	a	1,08	ab	3,44	a	23,2	a
	3	0,63	ab	1,06	ab	4	ab	40,1	b
	4	0,57	a	0,86	a	3,32	a	23,5	a
	5	0,73	b	1,52	c	6,7	c	58	c

(Região 1- Bocaiuva; 2 – Belo Oriente; 3 – Guanhães; 4 – Três Lagoas; e 5 – Telêmaco Borba). Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si pelo teste tukey ($P \leq 0,05$). Fonte: a autora

Tabela 24: Resultados do índice de rasgo, mN.m²/g, para os três clones/regiões.

Clone	Região	Nº de revoluções, rpm							
		0		500		1500		3000	
C1	1	4,72	a	6,95	a	9,08	a	8,70	a
	2	5,97	a	9,21	b	9,45	a	9,52	ab
	3	4,16	a	8,07	ab	8,87	a	10,52	b
	4	5,83	a	9,19	b	9,83	ab	8,71	a
	5	5,49	a	8,64	ab	11,03	b	10,1	b
C2	1	3,28	a	5,12	a	7,95	a	8,84	ab
	2	3,77	a	6,71	ab	8,01	a	9,37	ab
	3	3,74	a	6,19	ab	9,29	a	8,13	a
	4	3,98	a	5,64	a	8,78	a	8,23	a
	5	4,18	a	7,69	b	9,29	a	9,78	b
C3	1	2,99	a	5,26	b	8,33	b	8,46	a
	2	2,96	a	5,57	a	8,12	a	8,88	a
	3	3,74	a	5,85	bc	8,81	bc	9,44	a
	4	3,36	a	5,85	bc	8,01	b	9,19	a
	5	4,8	a	7,21	c	10,12	c	9,62	a

(Região 1- Bocaiuva; 2 – Belo Oriente; 3 – Guanhães; 4 – Três Lagoas; e 5 – Telêmaco Borba). Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si pelo teste tukey ($P \leq 0,05$). Fonte: a autora

Tabela 25: Resultados do índice de Arrebentamento, Kpa.m²/g, para os três clones/regiões.

Clone	Região	Nº de revoluções, rpm							
		0		500		1500		3000	
C1	1	0,95	ab	1,87	ab	3,27	a	4,32	a
	2	1,23	bc	2,12	ab	3,31	a	4,70	a
	3	0,79	a	1,65	a	3,15	a	4,27	a
	4	1,28	c	2,46	b	3,88	b	5,37	b
	5	0,96	a	2,14	ab	3,58	ab	5,07	a
C2	1	0,77	a	1,53	a	2,70	a	3,61	a
	2	0,84	a	1,70	a	3,01	ab	4,33	b
	3	0,72	a	1,51	a	3,05	ab	4,54	b
	4	0,79	a	1,59	a	2,82	ab	4,26	b
	5	0,82	a	1,98	b	3,33	b	4,73	b
C3	1	0,67	a	1,48	a	2,67	a	3,96	a
	2	0,58	a	1,41	a	2,57	a	4,06	a
	3	0,70	a	1,45	a	2,85	a	4,34	ab
	4	0,62	a	1,50	a	2,82	a	4,06	a
	5	1,08	b	1,91	b	3,42	b	4,82	b

(Região 1- Bocaiuva; 2 – Belo Oriente; 3 – Guanhães; 4 – Três Lagoas; e 5 – Telêmaco Borba). Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si pelo teste tukey ($P \leq 0,05$). Fonte: a autora

Tabela 26: Resultados do índice de tração, N.m/g, para os três clones/regiões.

Clone	Região	Nº de revoluções, rpm			
		0	500	1500	3000
C1	1	21,5 a	36,3 b	57,9 ab	71,6 ab
	2	26,5 b	40,5 bc	60,0 bc	75,9 abc
	3	19,8 a	33,6 a	51,8 a	67,1 a
	4	24,5 b	43,7 c	65,1 c	83,5 c
	5	20,5 a	38,8 b	66,6 c	79,7 bc
C2	1	20,2 a	33,0 a	51,1 a	69,5 a
	2	23,3 b	36,9 a	56,1 ab	71,6 a
	3	20,1 a	33,6 a	54,9 ab	72,8 a
	4	22,0 ab	38,9 ab	55,2 ab	73,7 a
	5	22,6 ab	41,6 b	59,4 b	75,8 a
C3	1	19,2 ab	33,8 a	50,4 a	67,0 a
	2	19,4 ab	35,3 ab	52,3 a	66,6 a
	3	21,3 bc	35,4 ab	51,4 a	73,4 a
	4	18,9 a	32,1 a	51,4 a	71,0 a
	5	23,2 c	38,7 b	58,7 a	74,9 a

(Região 1- Bocaiuva; 2 – Belo Oriente; 3 – Guanhães; 4 – Três Lagoas; e 5 – Telêmaco Borba). Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si pelo teste tukey ($P \leq 0,05$). Fonte: a autora

Tabela 27: Resultados do Modulo de elasticidade específico, MN.m/kg, para os três clones/regiões.

Clone	Região	Nº de revoluções, rpm			
		0	500	1500	3000
C1	1	3,37 a	4,19 a	5,18 a	5,85 a
	2	3,40 a	4,64 a	5,41 a	6,26 a
	3	3,27 a	4,61 a	5,39 a	5,79 a
	4	3,35 a	4,73 a	5,48 a	5,99 a
	5	3,00 a	4,50 a	5,27 a	5,88 a
C2	1	3,46 a	4,62 a	5,36 a	6,18 a
	2	3,69 a	4,8 a	5,57 a	6,27 a
	3	3,44 a	4,52 a	5,42 a	5,97 a
	4	3,4 a	4,77 a	5,51 a	6,28 a
	5	3,37 a	4,75 a	5,74 a	6,27 a
C3	1	3,23 a	4,43 a	5,2 a	5,71 a
	2	3,16 a	4,76 a	5,54 a	6,08 a
	3	3,45 a	4,68 a	5,61 a	6,12 a
	4	2,91 a	4,37 a	5,35 a	6,03 a
	5	3,55 a	4,69 a	5,59 a	6,17 a

(Região 1- Bocaiuva; 2 – Belo Oriente; 3 – Guanhães; 4 – Três Lagoas; e 5 – Telêmaco Borba). Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si pelo teste tukey ($P \leq 0,05$). Fonte: a autora