

WELLINGTON PAULO DE OLIVEIRA ABRANCHES

**EFEITO DO ÁLCALI EFETIVO RESIDUAL NA PRODUÇÃO DE POLPA
KRAFT BRANQUEADA DE EUCALIPTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Tecnologia de Celulose e Papel, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2017

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

T

A161e
2017
Abranches, Wellington Paulo de Oliveira, 1989-
Efeito do álcali efetivo residual na produção de polpa kraft
branqueada de eucalipto / Wellington Paulo de Oliveira
Abranches. – Viçosa, MG, 2017.
viii, 32 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: Fernando José Borges Gomes.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 21-24.

1. Indústria de celulose. 2. Polpa de madeira -
Branqueamento. 3. Polpação alcalina por sulfato. 4. Resíduos
industriais - Lixiviação. 5. Álcalis. 6. Eucalipto. I. Universidade
Federal de Viçosa. Engenharia Florestal. Programa de
Pós-Graduação em Tecnologia de Celulose e Papel. II. Título.

CDO adapt. CDD 22. ed. 634.986

WELLINGTON PAULO DE OLIVEIRA ABRANCHES

**EFEITO DO ÁLCALI EFETIVO RESIDUAL NA PRODUÇÃO DE POLPA
KRAFT BRANQUEADA DE EUCALIPTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Tecnologia de Celulose e Papel, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 18 de dezembro de 2017.

Cláudia Márcia Gomes

Jorge Luiz Colodette

Rubens Chaves de Oliveira
(Coorientador)

Fernando José Borges Gomes
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus que sempre me deu saúde e perseverança para que pudesse buscar os meus sonhos.

Agradeço aos meus pais Paulo e Inácia que sempre me incentivaram e acreditaram no meu potencial. Muito obrigado por serem exemplos para mim.

À Nítsa pelo convívio saudável, companheirismo e carinho.

À Universidade Federal de Viçosa, ao Departamento de Engenharia Florestal e ao Laboratório de Celulose e Papel pelas oportunidades dadas.

Ao professor Fernando José Borges Gomes pela amizade e por me orientar durante este trabalho.

Ao professor Jorge Luiz Colodette pelo auxílio na elaboração do projeto e por ser sempre solícito quando precisei de apoio.

Ao professor José Lívio Gomide (*In memoriam*) pela oportunidade de trabalhar ao seu lado e por todos os ensinamentos.

Ao professor Rubens Chaves de Oliveira pela contribuição dada ao trabalho, incentivo durante os estudos e apoio nos anos de laboratório de celulose e papel.

Aos amigos Claudio Bittencourt, Ciro, Gustavo, Tião, Carlinhos, Larisse, Sandra, Alessandro, Carla, Luciano, Conceição, Tiago, Cassio, Bruno, Iara, Bruna, Marcela e todos os outros que contribuíram com amizade, companheirismo em meus estudos e pesquisa científica.

BIOGRAFIA

Wellington Paulo de Oliveira Abranches, filho de Paulo Antônio Abranches e Inácia de Oliveira Abranches nasceu em 16 de dezembro de 1989, na cidade de Viçosa, Minas Gerais.

Concluiu o estudo fundamental no Colégio Coronel Antônio da Silva Bernardes e o ensino médio no Colégio Pitágoras.

Em 2007, iniciou seu trabalho no Laboratório de Celulose e Papel, por meio da Sociedade de Investigações Florestais.

No ano de 2012, ingressou no curso de Gestão Ambiental pela Faculdade de Ciências Biológicas e da saúde UNIVIÇOSA, graduando-se em 2014.

Ingressou no Mestrado Profissional em Tecnologia de Celulose e Papel na Universidade Federal de Viçosa em 2015 sendo, o mesmo concluído em 2017.

LISTA DE ABREVIACOES, NOMENCLATURAS E SÍMBOLOS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
AER – lcali efetivo residual
AOX – halognios orgânicos adsorvíveis
a.s. – absolutamente seco
CAT – cloro ativo total
D – estágio do branqueamento de dioxidao
D_{Hot} – estágio do branqueamento de dioxidao a quente
DQO – demanda química de oxigênio
dm³/Kg – densímetro cúbico por quilograma
EIC – extended impregnation cooking
(EP) – extração alcalina com peróxido de hidrogênio
g/L – gramas por litro
Kg/m³ – quilogramas por metro cúbico
Kg/Tas – quilogramas por tonelada absolutamente seco
L/Kg – litros por quilograma
mg/Kg – miligramas por quilograma
MJ/Kg – megajoule por quilograma
mmol/Kg – milimols por quilograma
OX – halognios orgânicos adsorvíveis na polpa celulósica
PCI – poder calorifico inferior
PCS – poder calorifico superior
Pr-O₂ – pr deslignificação com oxigênio
ppm – partes por milhão
SCAN – Scandinavian pulp, paper and board testing committee
TAPPI – Technical Association of the Pulp and Paper Industry
TOC – carbono orgânico total

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Procedimentos analíticos utilizados para a quantificação dos componentes químicos presentes na amostra de madeira avaliada no estudo.....	3
Tabela 2: Condições operacionais utilizadas para a conversão da madeira em polpa celulósica pelo processo Kraft.....	3
Tabela 3: Procedimentos analíticos realizados nos licores negros	4
Tabela 4: Parâmetros dos estágios de Pré-O2 e do branqueamento	5
Tabela 5: Procedimentos analíticos realizados para obtenção análise das propriedades físico-mecânicas e óticas nas polpas.	7
Tabela 6: Resultados médios das análises químicas e físicas da madeira de eucalipto	10
Tabela 7: Resultados da polpação kraft de madeira de Eucalyptus globulus objetivando kappa 17,5±0,5 obtidos para diferentes valores de AER.....	12
Tabela 8: Resultados médios das análises feitas no licor negro	13

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Resultados da eficiência de deslignificação da Pré-O2 versus o conteúdo de AER obtidos para as diferentes polpas.	14
Figura 2: Viscosidade média das polpas celulósicas obtidas com diferentes concentrações de AER até alvura 90%ISO.	15
Figura 3: Viscosidade média das polpas celulósicas obtidas com diferentes concentrações de AER até alvura 90%ISO.	16
Figura 4: Propriedades de resistência físico-mecânica das polpas obtidas a diferentes níveis de refino.	18
Figura 5: Propriedades óticas testadas a diferentes níveis de refino, onde: (A) Opacidade e (B) coeficiente de dispersão de luz	19

RESUMO

ABRANCHES, Wellington Paulo de Oliveira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2017. **Efeito do álcali efetivo na produção de polpa kraft branqueada de eucalipto.** Orientador: Fernando José Borges Gomes. Coorientador: Rubens Chaves de Oliveira.

A polpa kraft é a mais utilizada para a produção de pasta branqueada. Existem muitos estudos para melhorar a capacidade de polpação da madeira e a capacidade de branqueamento com base na química da madeira, na modificação do processo e na utilização de aditivos, por exemplo. Por outro lado, ainda há oportunidades para melhorar a base do processo em seu melhor controle, uma vez que muitas fábricas de celulose não prestam atenção em alguns parâmetros de processos importantes, tais como o álcali efetivo residual (AER), que apresentam uma variação considerável entre fábricas de celulose e em muitos casos dentro de uma única fábrica de celulose. Desta forma, este trabalho teve como objetivo avaliar o impacto da AER no rendimento de polpação, bem como a capacidade de branqueamento e resistência da polpa. Foi investigada o AER nas concentrações de 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12 e 14g / L para a produção de polpa de eucalipto no número kappa 17 +- 0,5. A pasta foi branqueada pela sequência OD* (EP) D visando alvura de 90% ISO. Os principais resultados foram: (1) com menor AER maior o rendimento de polpação; (2) com menor AER maior o teor de hemicelulose da polpa; (3) apesar da variação do conteúdo químico da polpa, a branqueabilidade não foi afetada pela variação do AER; e (4) apesar dos menores valores de AER produzirem polpas de melhores refinabilidade, as propriedades de resistência mecânica das mesmas não apresentou clara tendência frente a variação do AER.

ABSTRACT

ABRANCHES, Wellington Paulo de Oliveira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, December, 2017. **Effect of residual effective alkali on the Kraft beladched pulp production.** Advisor: Fernando José Borges Gomes. Co-advisor: Jorge Luiz Colodette, and Rubens Chaves de Oliveira.

The kraft process pulp is most used for producing bleached pulp. There are many studies for improving the wood pulpability and bleachability based on wood chemistry, process modification, and use of additives for example. On the other hand, there is still opportunities for improving the process base on its better control, since many pulp mills does not pay attention in some important processes parameters such as residual effective alkali (REA) which present a considerable range variation among pulp mills and even inside a unique pulp mill in many cases. In this way, this paper aimed to evaluate the impact of the REA in the pulping yield, as well as pulp bleachability and strength. It was investigated the REA in the concentrations of 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12 and 14g/L for producing eucalypt pulp at kappa number 17. The pulp was bleached by the sequence OD*(EP)D aiming 90% ISO brightness. The main finding were: (1) as lower the REA as higher the pulping yield; (2) as lower the REA as higher the pulp hemicellulose content; (3) in spite of the pulp chemical content variation, the bleachability was not impaired by the REA variation; and (4) on the other hand the pulp strength was positively impaired by the higher hemicellulose content in the pulps.

SUMÁRIO

1. Introdução.....	1
2. Materiais e métodos	2
2.1. Materiais	2
2.2. Métodos	2
2.2.1. Caracterização físico-química dos cavacos de eucalipto.....	2
2.2.2 Polpação kraft.....	3
2.2.3 Análises do licore negro oriundo da polpação.....	4
2.2.4 Avaliação da branqueabilidade das polpas.....	5
2.2.5 Propriedades físico-mecânicas e óticas das polpas	6
3. Resultados e discussão	7
3.1 Caracterização do <i>Eucalyptus globulus</i>	7
3.2 Polpação Kraft	11
3.4 Deslignificação com oxigênio	13
3.5 Branqueamento	14
3.6 Propriedades físicas e óticas	15
3.6.1 Refinabilidade das polpas.....	15
3.6.2 Propriedades físico-mecânicas do papel	16
3.6.3 Propriedades óticas.....	18
4. Conclusões	20
5. Bibliografia.....	20
6. Anexos:.....	25

1. Introdução

As madeiras de coníferas e folhosas são as principais fonte de matéria prima para a produção de polpa celulósica em todo o mundo. No Brasil, o eucalipto se destaca como a principal fonte de matéria prima, sendo o país o maior produtor de polpa celulósica kraft branqueada de fibra curta do mundo (ABTCP 2016). Apesar da alta produtividade florestal no Brasil, a madeira apresenta tendências de aumento de custo, levando a necessidade de que o seu processo de conversão opere em condições que potencializem o seu aproveitamento, bem como a qualidade do produto final.

O processo de conversão da madeira em polpa celulósica mais utilizado no Brasil e no mundo é o kraft. Esse processo tem vantagens em relação aos demais devido à grande flexibilidade com relação às espécies de biomassa lignocelulósica, sendo utilizada para madeira e não madeiras. Os ciclos de cozimento são mais curtos, a polpa pode ser branqueada a altos níveis de alvura, produção de polpa de alta resistência e eficiência na recuperação dos reagentes (GOMIDE e GOMES, 2015).

Desde o desenvolvimento do processo Kraft, diversas modificações vêm sendo implementadas de forma a melhorar sua eficiência, em termos de rendimento e propriedades da polpa, como por exemplo a lavagem no fundo digestor (VASCONCELOS, 2005). Contudo, há ainda lacunas a serem estudadas em relação ao processo kraft, principalmente frente ao diversos tipos de matérias primas utilizadas pelas indústrias do setor. Por exemplo, a concentração do álcali efetivo residual (AER) pode ser um indicativo da eficiência do processo. De acordo com trabalho publicados, um residual baixo e bem controlado de álcali, garante uma maior conservação de carboidratos (celulose e hemiceluloses), resultando em benefícios ao rendimento do processo (STROMBERG, 2003).

Entretanto, esse é um assunto que ainda carece de maiores detalhamentos na literatura, pois é conhecido que os valores de AER praticados no setor industrial variam grandemente. Em muitos casos essa variação do AER é controlada para não obter valores inferiores a um limite pré-estabelecido ou devido ao incremento de produção de digestores que devido a limitações físicas tem de aumentar a carga de álcali para facilitar processos de impregnação e cozimento devido aos tempos de retenção inferiores aos planejados inicialmente.

Nesse cenário, esse trabalho teve como objetivo avaliar o impacto da variação do AER no rendimento da polpação kraft, bem como o seus efeitos na branqueabilidade e propriedades físico-mecânicas e ópticas das polpas.

2. Materiais e métodos

2.1. Materiais

Foram utilizados cavacos industriais da madeira de *Eucalyptus globulus* fornecidos por uma empresa do Setor de Celulose e Papel nacional localizada no estado de São Paulo. Os cavacos foram secos ao ar até atingirem umidade uniforme, a seguir foram homogeneizados e classificados e selecionados de acordo com a norma SCAN-CM 40:94, por fim os cavacos foram acondicionados em sacos de polietileno para conservação do teor de umidade.

2.2. Métodos

O estudo foi realizado no Laboratório de Celulose e Papel do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa em Viçosa, Minas Gerais. Para o desenvolvimento do estudo foram realizadas análises para a caracterização química das amostras, ensaios de polpação (conversão da madeira em polpa celulósica), branqueamento e resistência físico-mecânica das polpas. Esses procedimentos serão apresentados a seguir.

2.2.1. Caracterização físico-química dos cavacos de eucalipto

Com uma fração dos cavacos previamente preparados como descrito no item 2.1 foram realizadas análises de densidade básica e aparente e outra parte ($\approx 1\text{Kg}$) transformados em serragem utilizando-se um moinho laboratorial Wiley. A fração de serragem foi classificada quanto a sua granulometria utilizando-se peneiras de 40 e 60 *mesh* de acordo com a norma TAPPI T257 cm-85. Foi determinado o teor de umidade da serragem, conforme norma TAPPI T264 om-88. A partir da amostra de serragem foram realizadas análises para a quantificação da composição química sendo os procedimentos analíticos empregados descritos na Tabela 1.

Tabela 1: Procedimentos analíticos utilizados para a quantificação dos componentes químicos presentes na amostra de madeira avaliada no estudo

Parâmetros	Procedimentos
Teor de pentosanas	ABTCP CB/70
Análise elementar*	TAPPI Test T266 om-94
Teor de extrativos totais	TAPPI T 264 cm-97
Teor de lignina insolúvel em ácido	GOLDSCHMID (1971)
Teor de urônicos	TAPPI T282 pm-07
Teor de lignina solúvel em ácido	GOMIDE e DEMUNER (1986)
Teor de cinzas	TAPPI 211 om 93
Teor de sílica	TAPPI 211 om 85
Metais**	TAPPI T266 om-94

*Carbono, Hidrogênio, Nitrogênio, Enxofre e Oxigênio.

** Cálcio, Cobre, Ferro, Magnésio, Manganês, Potássio e Sódio.

2.2.2 Polpação kraft

Foram realizados cozimentos kraft, tendo como premissas a obtenção oitos níveis de AER (0, 2, 4, 6, 8, 10, 12 e 14g/L) e número kappa fixo $17,5 \pm 0,5$. Os ensaios de polpação foram realizados em digestor rotacional da marca Regmed, dotada de quatro células de aço inox, com volume de 2 litros cada e aquecimento por resistências elétricas. Foram utilizadas quatro repetições para cada um dos níveis de álcali residual avaliados nesse estudo. As condições operacionais da polpação kraft são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Condições operacionais utilizadas para a conversão da madeira em polpa celulósica pelo processo Kraft.

Parâmetros	Condições
Álcali ativo, %	*Variável
Sulfidez, %	30
Relação Licor/madeira, L/kg	4/1
Massa de cavacos, g a.s.	250
Tempo até temperatura, minutos	75
Tempo à temperatura, minutos	**Variável
Temperatura máxima, °C	170

*Dosagem de álcali variável para atingir diferentes níveis de AER e kappa;

**Tempo variável para atingir diferentes níveis de AER e kappa.

Assim que finalizado os cozimentos, os materiais deslignificados foram descarregados em caixas de aço inox contendo no seu fundo uma tela de malha metálica de 400 mesh, onde foram submetidos a uma lavagem com água em excesso à temperatura ambiente. Em seguida determinou-se o rendimento das polpações por técnica gravimétrica. Determinou-se para cada amostra obtida a alvura, número kappa, teor de ácidos hexenurônicos e viscosidade de acordo com as normas TAPPI T282-pm-07, TAPPI T230-cm-89, TAPPI-T236-cm-85, TAPPI-om-99, respectivamente. Cada ensaio de polpação foi realizado em duplicata.

2.2.3 Análises do licore negro oriundo da polpação

Para cada ensaio de polpação foi recolhida uma amostra do licor negro residual durante a descarga do digestor utilizando uma tela de 400 mesh para filtrar. Os procedimentos analíticos realizados no licor negro estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3: Procedimentos analíticos realizados nos licores negros

Parâmetros	Procedimentos
Metais**	TAPPI T266 om-88
pH do licor	TAPPI T285 cm-85
Poder calorífico superior e inferior	ABNT NBR 8633/84
Teor de Carbono Orgânico Total	SCAN-CM 45:00
Teor de matéria inorgânica	TAPPI T285 cm-85
Teor de matéria orgânica	TAPPI T285 cm-85
Teor de sólidos	TAPPI T285 cm-85

*Carbono, Hidrogênio, Nitrogênio, Enxofre e Oxigênio.

** Sódio e potássio.

Para o cálculo do poder calorífico inferior e útil foram utilizada a equação 1.

$$PCI = PCS - 600(9H/100) \quad (1)$$

PCS – poder calorífico superior, cal g⁻¹

PCI – poder calorífico inferior, cal g⁻¹

H – teor de hidrogênio, %

U – umidade do material, em base úmida, %

2.2.4 Avaliação da branqueabilidade das polpas

Com o objetivo de verificar a branqueabilidade das polpas celulósicas kraft obtidas com as diferentes concentrações de álcali efetivo residual, foi utilizada a sequência ECF (*Elemental Chlorine Free*), OD*(EP)D, objetivando a alvura 90%. A etapa de pré-deslignificação com oxigênio (Pré-O₂) foi realizada em um reator/misturador Mark V, fabricado pela Quantum Technologies. Os demais estágios da sequência de branqueamento forma realizado utilizando-se sacos de polietileno que foram transferidos para banho de vapor termoestatizado com controle de temperatura, onde a polpa foi mantida pelo tempo preestabelecido. Na Tabela 4 são apresentados as condições operacionais para a realização de cada uma das etapas contidas na sequência de branqueamento adotada.

Tabela 4: Parâmetros dos estágios de Pré-O₂ e do branqueamento

Parâmetros	Estágios			
	O	D _{HT}	(EP)	D
Consistência, %	10	10	10	10
Temperatura, °C	100	85	80	80
Tempo, min	75	120	120	120
Pressão, KPa	600	-	-	-
NaOH, %	20	-	10	-
H ₂ SO ₄	-	*variável	-	*variável
O ₂ , %	20	-	-	-
ClO ₂ , %	-	5,5	-	**Variável
H ₂ O ₂	-	-	6	-
PH	11,5	4,5	11,5	4,5

*para PH 4,5

** para alvura ISO 90%

Para análise da performance das polpas frente a etapa de branqueamento as realizou-se análises de, teores de ácido hexenurônico, viscosidade, kappa, número de permanganato, alvura, e Reversão de alvura seguindo as seguintes normas, TAPPI T282-pm-07, TAPPI T230 cm-89, TAPPI T236 cm-85, CPPA G-17H, TAPPI T452 om-99, TAPPI UM200 (4h, 105°C, 0%UR, após acondicionamento das folhas por 4h em sala climatizada), respectivamente.

A branqueabilidade das polpas foi definida como a relação entre a remoção de kappa *versus* o consumo de cloro ativo total (CAT) para alcançar a alvura desejada. O consumo de CAT foi mensurado de acordo com a equação 2, onde os fatores 2,63 e 2,09 são oriundos da conversão de ClO₂ e H₂O₂ em Cl₂ baseados em seus equivalentes de oxidação.

$$\text{CAT} = [(\text{ClO}_2 \times 2,63) + (\text{H}_2\text{O}_2 \times 2,09)] \quad (2)$$

Onde:

CAT = consumo de cloro ativo total, kg/t a.s de polpa

ClO₂ = carga total de dióxido de cloro gasto nas etapas do branqueamento, kg/t a.s de polpa

H₂O₂ = carga total de peróxido de hidrogênio gasto nas etapas do branqueamento, kg

2.2.5 Propriedades físico-mecânicas e óticas das polpas

Para a avaliação das propriedades físico-mecânicas das polpas, utilizaram-se amostras com os níveis de AER de 0, 6 e 14 g/L. Para cada uma das amostras de polpa avaliadas foram realizadas curvas de refino em moinho PFI, modelo MARK VI da Hamar Norway, onde as revoluções do refinador foram de 0, 1500, 3000 e 4500. O refino foi conduzido segundo a norma TAPPI T 248 om-08. Os parâmetros avaliados são apresentados na Tabela 5.

2.2.6 Análises estatísticas

Para análise estatística dos resultados dos testes físicos empregou-se o teste de identidade de modelos com teste F, proposto por (REGAZZI, 1993) e (REGAZZI; SILVA, 2004). As equações ajustadas foram comparadas pelo teste F, a fim de verificar igualdade entre elas. Quando estatisticamente iguais elas foram representadas apenas por uma linha. O teste F foi realizado com 95% de confiança.

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e quando estabelecidas diferenças significativas entre os tratamentos, aplicou-se o teste Tukey para as

médias em nível de 5% de significância. As análises estatísticas referentes aos testes de médias foram realizadas com o auxílio do programa *STATISTICA 8.0* (STATSOFT, 2007).

Tabela 5: Procedimentos analíticos realizados para obtenção análise das propriedades físico-mecânicas e óticas nas polpas.

Testes	Procedimentos
Espessura	TAPPI T 411 om-97
Gramatura	TAPPI T 410 om-08
Resistência ao arrebentamento	TAPPI T 403 om-02
Resistência ao rasgo (Elmendorf)	TAPPI T 414 om-98
Resistência à passagem de ar	TAPPI T 536 om-96
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
Peso específico aparente	TAPPI T 220 sp-06
Volume específico aparente	TAPPI T 220 sp-06
Opacidade e coeficiente de dispersão de luz	TAPPI T 519 om-96

3. Resultados e discussão

3.1 Caracterização do *Eucalyptus globulus*

A densidade da madeira é um importante parâmetro para avaliação da qualidade da mesma, e está diretamente relacionada com a eficiência de sua conversão em polpa celulósica, afetando custos de produção florestal, transporte, polpabilidade, bem como a qualidade da polpa, por exemplo, para a produção de papéis.(GOMIDE et al. 2005, MOKFIENSKI et al. 2008). Os valores obtidos para densidade básica e aparente das amostras de *eucalypto utilizada nesse estudo* foram de 487 kg/m^3 e 180 kg/m^3 , respectivamente. Estes valores estão condizentes com aqueles encontrados na literatura para madeiras de eucalypto utilizadas na indústria de polpa celulósica que utilizam a a madeira de eucalypto como matéria prima (MOKFIENSKI et al. 2008).

Outro relevante fator de qualidade da madeira, é a sua composição química. A madeira é composta majoritariamente por carboidratos, lignina, extrativos e minerais. Na Tabela 6 são apresentados os resultados da composição química da madeira de eucalypto utilizada nesse estudo.

Quanto ao conteúdo de carboidratos (glicanas, xilanas, galactanas, arabiana e manana) o valor encontrado para estes na madeira de eucalipto avaliada nesse estudo esta dentro da faixa de valores esperados (MOKFIENSKI et al. 2003). Juntos os carboidratos presentes somam um total de 67,1% da composição da madeira. Para esse estudo, uma importante avaliação foi quanto ao conteúdo de hemiceluloses, mais notadamente das xilanas (10,5%), pois se espera que esta terá a sua composição na polpa celulósica afetada pelo condições de processo (ANJOS, 2005), sendo portanto, importante monitorar o seu conteúdo na madeira e na polpa. O conteúdo de xilanas se correlaciona com o conteúdo de pentosanas, que para a madeira foi de 10,8%. A análise de pentosanas por ser de mais simples execução e de custos reduzidos quando a comparada a análise cromatografia será utilizada na avaliação da qualidade da polpa celulósica obtidas nesse estudo.

No que diz respeito ao conteúdo de lignina total, esse foi de 29%. O conteúdo de lignina solúvel foi da ordem de 24,5%. Esses valores de lignina total e solúvel, indicam que a madeira em questão possui características compatíveis com clones comerciais (SANTOS 2010). Ainda no que tange a lignina total, o desejável é que esta seja sempre o menor valor possível, visto que afeta a performance da polpação demandando maiores quantidade de álcali ativo, o que em geral impacta negativamente o rendimento da conversão da madeira em polpa celulósica (SOUZA, 2016). Quanto a lignina solúvel, há estudos que indicam que esta se correlaciona com a relação siringil/guaicil (S/G) da lignina (GOMIDE, 2005).

Para a indústria de polpa celulósica é desejável uma madeira com maior relação S/G possível, pois essa característica tendem a facilitar o processo de deslignificação (GOMES et al., 2010). Para esse estudo observou-se que os valores de lignina solúvel refletem valores de relação S/G da lignina comparáveis a clones considerados como de qualidade para o setor de polpa celulósica (GOMIDE, 2005). Ainda sobre o teor de lignina solúvel, estudos indicam que quanto maior o seu teor, maior tende a ser a relação siringil/guaiacil da lignina, o que é desejável para a produção de polpa celulósica (GOMES et al., 2010). Outro componente presente na madeira e em menor proporção, mas considerado de grande relevância são os extrativos. Os extrativos são formados por varias classes de compostos orgânicos como ceras, gorduras, álcoois, resinas, entre muitos outros (OLIVEIRA, 2006). Nesse estudo foram utilizados series de solventes para remover os extrativos de acordo com a norma Tappi T-12 m-59 , a saber: etanol/tolueno (1:2) → etanol → água quente. Esta sequência se mostra eficiente para remover extrativos poláres e apoláres, e também para quantificar os mesmos, visto que os outros componentes majoritários da madeira (celulose, hemiceluloses e lignina)

não são solúveis em meios contendo esses solventes à temperaturas moderadas e não pressurizados. Nesse estudo, também foi feita a quantificação de extrativos removíveis somente como na fração etanol/tolueno (2:1). Este solvente é eficiente para remoção de substâncias como resinas, fitoesteróis, hidrocarbonetos não voláteis, ácidos graxos (CRUZ et al., 2006).

Os extrativos são em geral danosos ao processo de polpação, pois estão associados com incrustações em equipamentos, além de reagirem com as soluções de cozimento consumindo álcali, e sendo os produtos dessas reações também adversos, como por exemplo, em reações de saponificação de ácidos graxos que formam espumas nos sistemas prejudicando etapas de processo como a lavagem da polpa. Os extrativos ainda se correlacionam com a formação de pitch na polpa, os quais são denominados como acúmulos de substâncias (graxas, ceras, álcoois de cadeia longa) que se depositam sobre a polpa celulósica (CRUZ et al., 2006). Os valores encontrados nesse estudo são condizentes com os de clones comercialmente utilizados para conversação de madeira em polpa celulósica.

Outra fração de componentes presentes na madeira é o conteúdo de minerais. O minerais são também indesejáveis ao processo de polpação, pois causam incrustações e corrosões em equipamentos, reduzem o poder calorífico da biomassa, afetam a performance das operações de branqueamento com peróxido de hidrogênio, se correlacionam com perda de qualidade da polpa, entre outros impactos (FREDDO, et al. 1999). O valor de cinzas observado neste estudo foi de 0,2%, o qual pode ser considerado baixo quando comparado a clones comerciais utilizados pela indústria de polpa celulósica de eucalipto (SOUZA, 2016). Ainda sobre os minerais, eles atuam de diferentes formas, por exemplo, o cálcio (281,3 mg/kg), magnésio (106,2 mg/kg) e sílica (0,07%), tendem a causar depósitos no equipamentos durante etapas de evaporação e combustão de licores. Já o potássio (375 mg/kg) e o sódio (580,3 mg/kg), tendem a decrescer o ponto de fusão das cinzas, causando incrustações e corrosões na caldeira de recuperação (FOELKEL, 2011). Os metais de transição como o ferro (11,2 mg/kg), cobre (2,4 mg/kg) e manganês (10,6 mg/kg) prejudicam o processo de branqueamento e qualidade da polpa celulósica, atuando na decomposição radicalar do peróxido de hidrogênio, o qual é um reagente comumente empregados pelas indústrias de polpa celulósica branqueada em todo o mundo (FREDDO, et al. 1999).

Ainda no que tange a qualidade da madeira, principalmente para usos energéticos, um fator importante é o seu poder calorífico. O poder calorífico é a quantidade de calor liberada pela combustão completa da unidade de massa (ou volume) do combustível (QUIRINO,

2005). Essa quantidade de calor depende da composição da biomassa. O poder calorífico superior (PCS) ocorre quando a combustão se efetua a volume constante e a água formada na combustão é condensada, já o poder calorífico inferior (PCI) é resultante da combustão sob pressão constante, ao ar livre, sem a condensação da água formada e desse modo, seu valor é menor que a PCS (SANTOS, 2012). Estudos feitos por Carvalho (2003) chegou ao PCS para o *Eucalyptus urograndis* no valor de 18,9 MJ/Kg, valor próximo alcançado neste trabalho, 19,3 MJ/Kg.

A madeira é basicamente composta na sua maioria por carbono, hidrogênio e oxigênio. Estudos feitos por Colodette et al. (2005), demonstram que para análise elementar, C, H, N, O, da madeira ficam na média respectivamente em 48,4%, 6,1%, 0,21%, 45,0%, valores semelhantes aos encontrados nesse estudo.

Tabela 6: Resultados médios das análises químicas e físicas da madeira de eucalipto

Parâmetros	Amostra
	<i>Eucalyptus globulus</i>
Extrativos em etanol/tolueno, %	1,3
Extrativos totais, %	3,0
Lignina Solúvel,%	27,6
Lignina Insolúvel,%	3,8
Lignina Total, %	31,5
Pentosana%	12,1
Acetil	2,9
urônicos %	3,5
glicana %	49,3
arabiana %	0,2
manana %	0,6
xilana %	10,5
galactana %	1,1
Cálcio, mg/Kg	281,3
Cobre, mg/Kg	2,4
Ferro, mg/Kg	11,2
Magnésio, mg/Kg	106,2
Manganês, mg/Kg	10,6
Sódio, mg/Kg	580,3
Potássio, mg/Kg	375,0
Cinzas, %	0,21
Sílica, %	0,07
Carbono, %	51,5

Hidrogênio, %	5,3
Nitrogênio, %	0,1
Enxofre, %	2,3
Oxigênio, %	40,6
PCS, MJ/Kg	19,3
PCI, MJ/Kg	18,2

3.2 Polpação Kraft

Atualmente, o processo kraft é o processo mais utilizado para converter biomassas lignocelulósicas em polpa celulósica (GULLICHSEN et.al, 2009). Para uma comparação efetiva das tecnologias de polpação, isto é, o processo utilizado para converter a biomassa em polpa celulósica, tem sido adotado a fixação de parâmetros como tempo, temperatura, número kappa, por exemplo, a fim de obterem condições de processo que possam ser comparáveis, auxiliando-se assim na discussão de interpretação dos resultados. Ainda nesse sentido, muitos são os autores que indicam que o AER também deve ser mantido em faixa constante, pois o mesmo pode influenciar na performance da polpação uma vez que se correlaciona com a solvatação de carboidratos e lignina durante o processo de cozimento (KLEPPE 1970), mas ainda são carentes estudos mais detalhados de como a variação do AER afeta a polpação e a qualidade da polpa. Como descrito na metodologia, este estudo visou o impacto do AER na polpabilidade, branqueabilidade e qualidade da polpa celulósica. Na Tabela 7 são apresentados os resultados da polpação. Nesse item são apresentados os valores médios obtidos, sendo os dados completos apresentados na Tabelas 4 e 5, do Anexo 1.

Para que a premissa de obtenção de diferentes níveis de AER fossem alcançados, necessitou-se variar o Fator H (292 a 986). O Fator H, é a relação entre tempo e temperatura, o qual se correlaciona com a temperatura o qual se correlaciona com a taxa de reação.

Os resultados obtidos nesse estudo mostram que a redução do conteúdo de AER do licor negro apresentou impacto na qualidade da polpa celulósica e no rendimento do processo. Quanto à qualidade da polpa, observou-se que com uma menor concentração de AER no licor negro, aumentou o conteúdo de hemiceluloses, o qual foi mensurado pela análises de pentosanas, quantificando assim as pentosas presentes na polpa (xilanas), aliado a esse aumento de hemiceluloses observou-se uma aumento do conteúdo de HexAs da polpa. A maior preservação desses compostos impactou positivamente o rendimento do processo, que

mostrou tendência de aumento com o diminuição do AER. Resultados similares tem sido reportados na literatura (PEDRAZZI et.al, 2011).

Tabela 7: Resultados da polpação kraft de madeira de *Eucalyptus globulus* objetivando kappa $17,5\pm 0,5$ obtidos para diferentes valores de AER

Amostras	Fator H	AE, c/ NaOH %	Rendimentos depurado, %	Ácidos Hexenurônicos, mmol/kg de polpa	Viscosidade Dm ³ /kg	Pentosanas, %
AEr0	986	14,8	52,8	83,9	1186	13,7
AEr2	878	16,0	52,5	87,9	1145	13,7
AEr4	708	17,3	52,5	94,2	1106	13,7
AEr6	624	18,4	52,1	85,5	1100	12,9
AEr8	499	19,5	52,0	81,5	1094	12,9
AEr10	421	20,8	51,9	71,1	1137	11,8
AEr12	312	21,2	51,7	79,8	1097	11,8
AEr14	292	22,0	51,2	74,0	1092	11,8

Como pode ser observado na tabela 7 o aumento do rendimento depurado foi alcançado pelo decréscimo da carga de álcali efetivo e aumento do fator H, assim como o decréscimo do álcali efetivo residual também foi influente no ganho de rendimento depurado. Ainda no que diz respeito aos processos de polpação, os valores de rendimentos depurados encontrados nesse estudo estão dentro da faixa esperada para o processo kraft (GOMIDE et al. 2005).

A viscosidade está relacionada indiretamente com o grau de degradação dos carboidratos durante o processo de polpação. Sabe-se que em meio alcalino ocorrem diversas reações de degradação destes tais como clivagem de ligações beta-glicosídicas, despolimerização terminal, entre outras (VENTORIM, et. al.). Essas reações são afetadas pela temperatura e pela concentração de íons OH no sistema (GOMIDE, 2006). Nesse estudo, observou-se que menores valores de AER resultaram em polpas de maior viscosidade. Esse resultado pode ser explicado devido às condições de processo utilizadas para a obtenção dos diferentes níveis de AER (fator H e AE). Dessa forma, pode se observar que para a obtenção de menores valores de AER, utilizou-se menores dosagens de AE, o que culminou em uma maior preservação dos carboidratos, colaborando-se assim para um maior valor de pentosanas.

3.3 Análise dos licores negros da polpação

Uma das razões para o sucesso do processo Kraft, o qual é o processo dominante para a produção de polpa celulósica em todo o mundo, é o ciclo de recuperação química, que promove a recuperação de químicos utilizados (NaOH e Na₂S), bem como a cogeração de energia para o processo (SMOOK, 1994).

Na tabela 8 são apresentados os valores médios referente a caracterização dos licores negros obtidos nos ensaios de polpação. Os licores oriundos dos processos em que se adotaram menores valores de AER um maior poder calorífico foi observado. Esse fato pode estar associado ao fato de que nesses tratamento se preservou maiores teores de carboidratos nas polpas, diminuindo assim no conteúdo de sólidos dissolvidos a proporção de carboidratos e aumentando proporcionalmente a de lignina nos licores. A maior preservação de carboidratos nas polpas com menores valores de AER possui maior poder calorífico quando comparada aos carboidratos (CARDOSO, 2006).

Tabela 8: Resultados médios das análises feitas no licor negro

Amostras	AER, g/L	ph	Inorg, %	Org, %	PCS, MJ/Kg	PCI, MJ/Kg
AER0	0	11,7	38,4	61,6	17	16,1
AER2	1,5	12,1	38,1	61,9	17,3	16,5
AER4	4	12,3	38,3	61,7	16,7	15,9
AER6	6	12,3	40,7	59,3	16,4	15,6
AER8	8,1	12,4	48,5	51,5	15,9	15,1
AER10	10,4	12,4	49	51	15,3	14,5
AER12	12,1	12,4	49,3	50,7	15,6	14,8
AER14	13,5	12,4	48,8	51,2	15,9	15,1

3.4 Deslignificação com oxigênio

As polpas celulósicas obtidas pelo processo polpação foram submetidas a deslignificação com oxigênio (Pré-O₂). Esse estágio é reconhecido e amplamente utilizado pelas indústrias de polpa celulósica devido a sua eficiência na remoção de lignina (COLODETTE 2015).

Nesse estudo observou-se que o aumento do AER proporcionou um aumento da eficiência de deslignificação da Pré-O₂ (Figura 1). Esse fato pode ser explicado pela variação do conteúdo HexA, resultado da maior ou menor preservação de hemiceluloses nas polpas. Sabe-se que o HexA é contabilizado na análise do número kappa, utilizado para mensurar a eficiência da Pré-O₂, porém é reconhecido também que este não reage na Pré-O₂ (VENTORIM 2006).

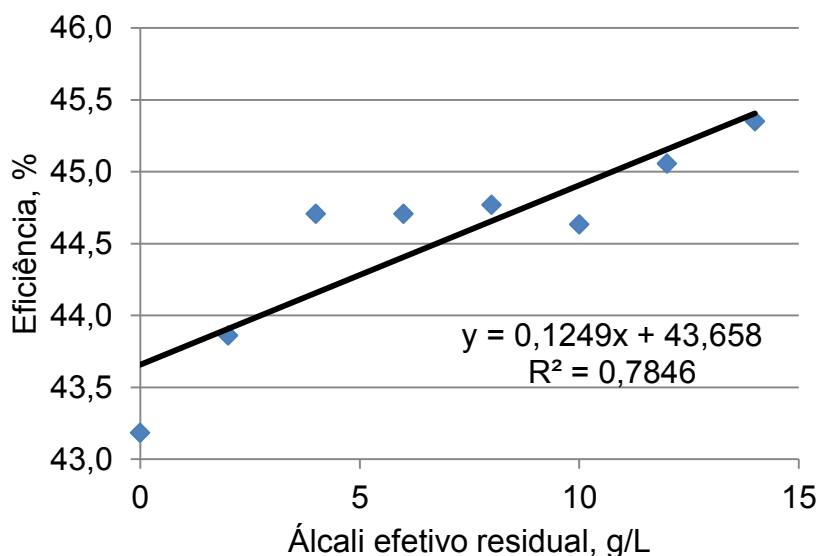


Figura 1: Resultados da eficiência de deslignificação da Pré-O₂ versus o conteúdo de AER obtidos para as diferentes polpas.

3.5 Branqueamento

Foi possível observar que as polpas celulósicas obtidas não mostraram tendências de consumos de CAT e melhores branqueabilidade quando comparadas a diferentes cargas de álcali efetivo residual. Esse resultado pode ser atribuído ao conteúdo de HexA dessas polpas, os quais são contabilizados no conteúdo de número kappa, e tendem a ser removidos grandemente no estágio D_{Ht}, sem impactar a demanda de ClO₂ desse estágio (RABELO et al, 2009).

Outro parâmetro relevante para a indústria de celulose e papel é a estabilidade de alvura. Nesse estudo, a estabilidade de alvura foi mensurada em termos do número de cor

posterior, conforme descrito na metodologia . Foi possível observar que as polpas não apresentaram melhores estabilidades de alvura, reflexo de sua branqueabilidade.

A Figura 4 mostra os resultados de viscosidade da polpa celulósica branqueada a 90% ISO de alvura. A viscosidade é uma forma indireta de mensurar o grau de degradação das cadeias de carboidratos, sendo que quanto maior o valor de viscosidade, maior tende a ser o tamanho médio das cadeias de carboidratos presentes na polpa (ALENCAR, 2002). Foi possível observar que as polpas obtidas com o menor conteúdo de AER apresentaram tendências de maiores valores de viscosidade. Essa tendência pode estar relacionada a maior degradação dos carboidratos em polpas com maiores concentrações alcalinas, uma vez que reações de despolimerização terminais dos carboidratos e de hidrólise alcalina se intensificam com o aumento da concentração e temperatura (GOMIDE 2006).

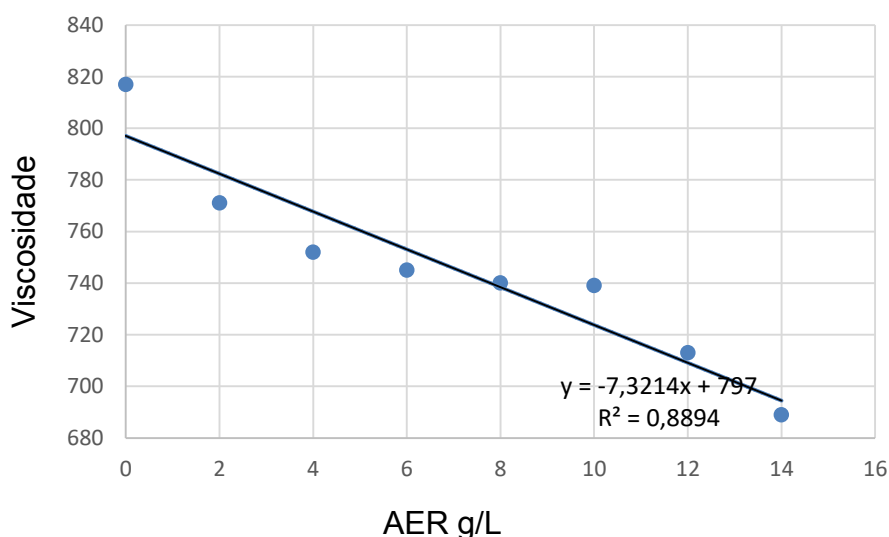


Figura 2: Viscosidade média das polpas celulósicas obtidas com diferentes concentrações de AER até alvura 90% ISO.

3.6 Propriedades físicas e ópticas

3.6.1 Refinabilidade das polpas

O parâmetro refinabilidade é considerado neste trabalho como a quantidade de energia (W.h) necessária para se alcançar um determinado grau de resistência da polpa à drenagem (°SR). O refino é um processo que consome grande quantidade de energia, sendo um

parâmetro importante na composição do custo de fabricação de papéis que necessitam ser refinados (FARIA 2016). Portanto, polpas de boa refinabilidade são desejáveis nas indústrias de celulose e papel.

Foi possível observar que houve diferença estatística entre as polpas oriundas de menores concentrações de álcali efetivo residual apresentaram tendências de melhor refinabilidade, isto é, menos energia foi necessária para se atingir os mesmo °SR nessas polpas (Figura 3). Esse resultado pode ser atribuído a preservação das hemiceluloses nessas condições. É bem documentado na literatura que as hemiceluloses contribuem para maior refinabilidade da polpa celulósica por favorecer o inchamento das fibras e intensificar as ligações entre fibras (SANTOS, 2005), (SILVA, 2000; DIAS et al., 2015).

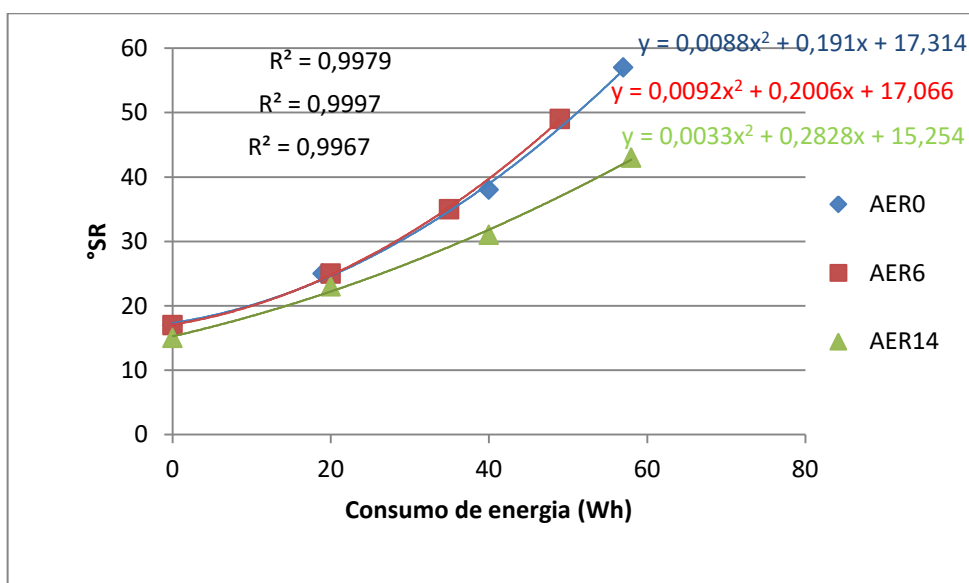
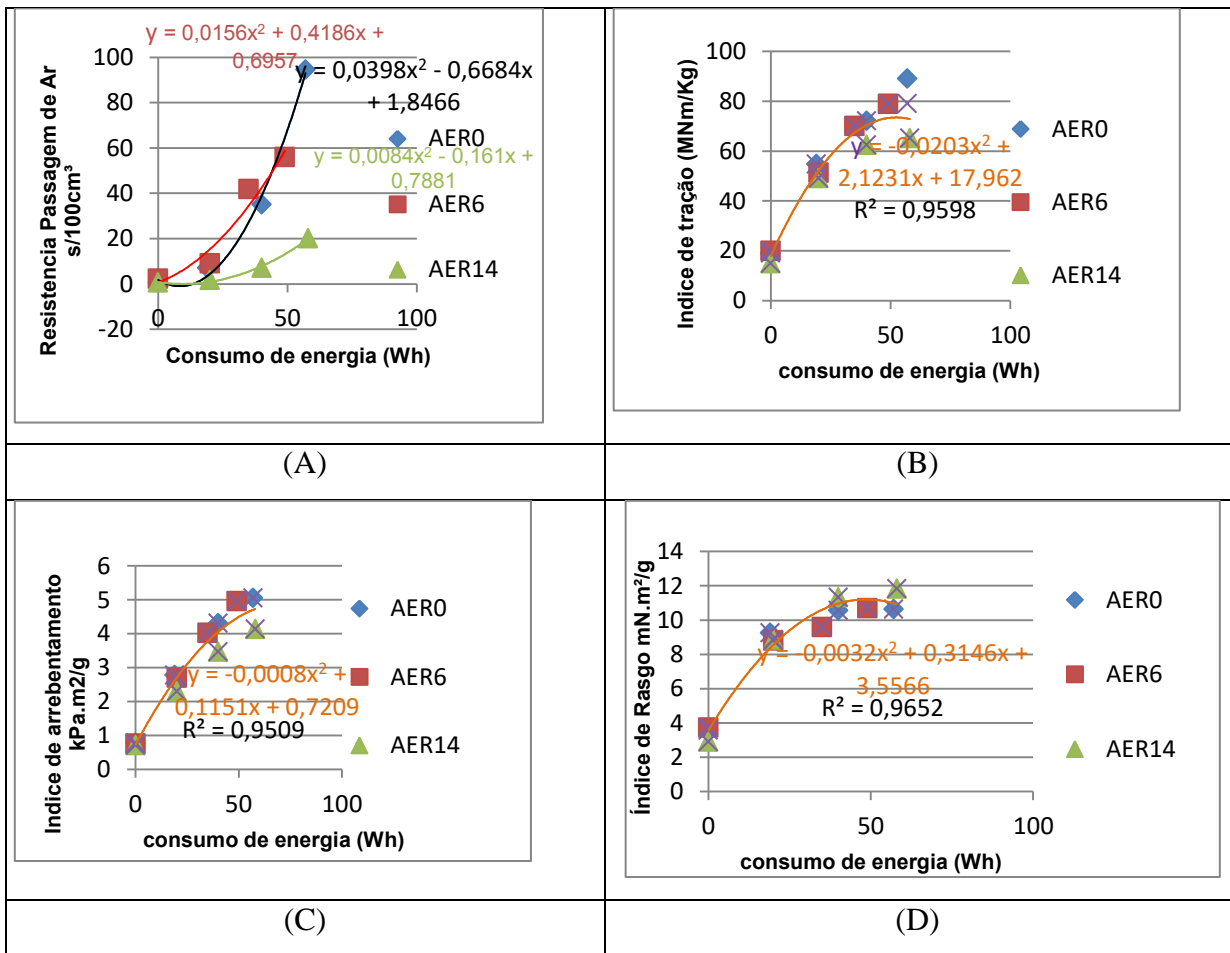


Figura 3: Viscosidade média das polpas celulósicas obtidas com diferentes concentrações de AER até alvura 90% ISO.

3.6.2 Propriedades físico-mecânicas do papel

Em geral tem sido reportado na literatura que um maior conteúdo de hemiceluloses pode contribuir de forma positiva ou negativa com as propriedades de resistência da polpa celulósica. Em um estudo feito por Muguet (2009) no qual se objetivou-se a adição de xilanas em polpas durante a etapa de branqueamento foi observado ganhos positivos para índice de tração e tendências de decréscimo no índice de rasgo. Porém para esse estudo as propriedades

físico-mecânicas apresentaram um comportamento semelhante para as amostras avaliadas não havendo diferença estatísticas entre elas (figura 4) exerto para a avaliação da propriedade de resistência a passagem de ar que foi observado diferença estatística entre as amostras (figura 4 A). A amostra AERO se mostrou com a maior resistência à passagem de ar, isso pode ser explicado pelo maior teor de hemiceluloses que foram contabilizados pelas pentoses que nessa amostra apresentou melhor resultado (13,7%). A amostra 14 apresentou o menor resultado para a propriedade. O processo de refino aumentou a propriedade de resistência à passagem de ar para todos as amostras, estando de acordo com a literatura (MANFREDI et al., 1986).



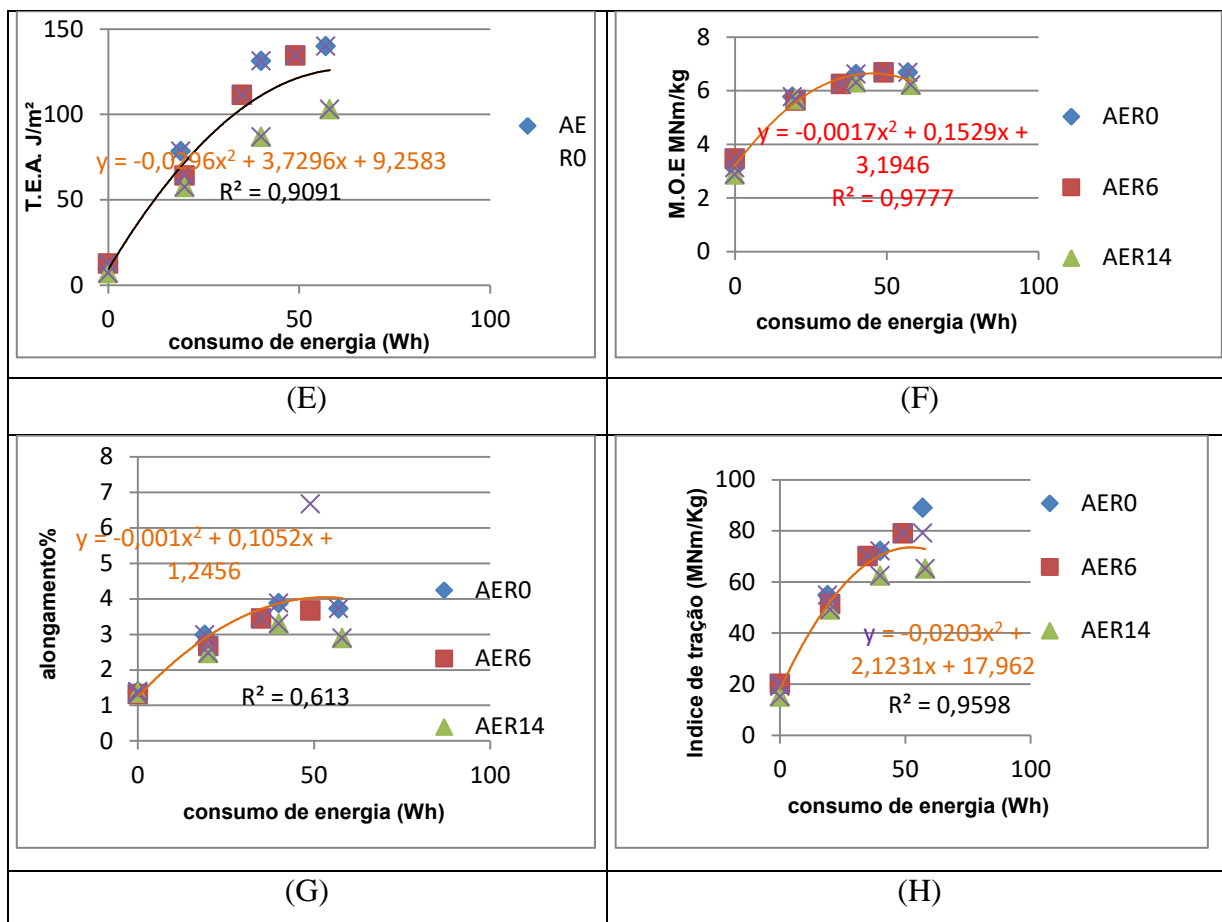
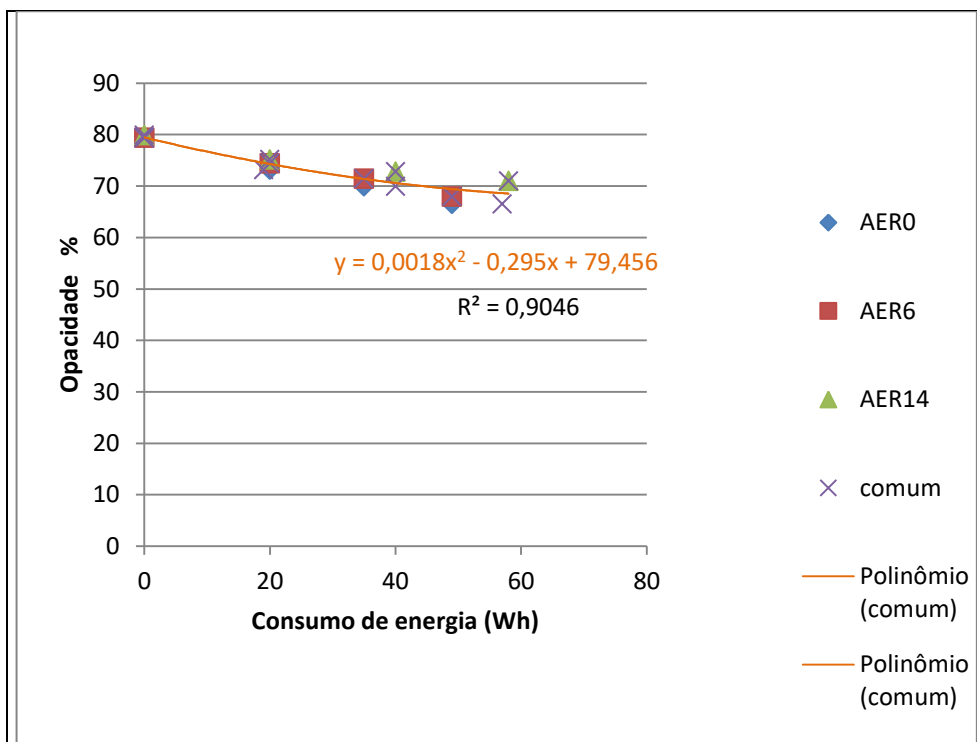


Figura 4: Propriedades de resistência físico-mêcnica das polpas obtidas a diferentes níveis de refino.

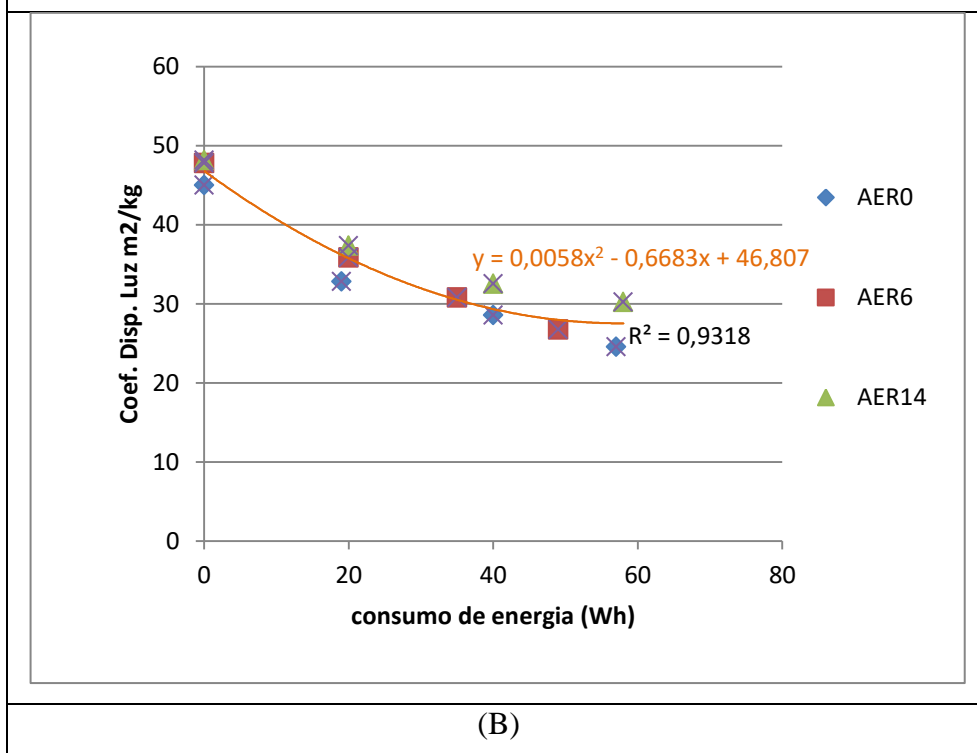
3.6.3 Propriedades ópticas

As propriedades ópticas são relevantes para a adequação da qualidade dos papéis para utilização nas mais diversas formas. De acordo com Silva & Oliveira (2000) características como maior número de fibras e partículas existentes nas folhas aumentam a refração, pois a luz tem que atravessar mais interfaces fibra-ar. Sendo assim maiores populações fibrosas geram maiores opacidades.

Os resultados dos parâmetros de propriedades ópticas são apresentados nas Figuras 6A e 6B e não mostraram diferenças estatísticas entre si, as propriedades de opacidade e coeficiente de dispersão de luz não foram afetadas pela variação do álcali efetivo residual.



(A)



(B)

Figura 5: Propriedades óticas testadas a diferentes níveis de refino, onde: (A) Opacidade e (B) coeficiente de dispersão de luz .

4. Conclusões

Observou-se que quanto menor a concentração de AER no processo de polpação maior tende a ser o rendimento do mesmo, devido a principalmente ao maior conteúdo de hemiceluloses que estas polpas contem. Observando-se o incremento de até 1,6% no rendimento.

Quanto a branqueabilidade das polpas, não se observou tendências de impacto nesse parametro pela variação do AER.

Porém as polpas com menores valores de AER apresentaram tendências de melhores refinabilidades, de todas as propriedades físicas e óticas testadas apenas a resistência a passagem de ar teve dirença estatística entre as amostra tendo a com menos conteúdo de AER o melhor resultado.

5. Bibliografia

ALENCAR, G. (2002). *Estudo da qualidade da madeira para produção de celulose relacionada à precocidade na seleção de híbrido E. grandis x E urophylla* (Doctoral dissertation, Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais)-Escola Superior de Agricultura" Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo, Piracicaba, 145 f).

ALMEIDA. Infuencia do grau de deslignificação na produção de polpa Kraft branqueada de eucalipto. Julho de 2010.

ANJOS, Ofélia; SANTOS, António; SIMÕES, Rogério. Efeito do teor de hemiceluloses na qualidade do papel produzido com fibra de Eucalipto. In: **5.º Congresso Florestal Nacional, Viseu, 19-19 Maio, 2005.** SPCF, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL – Disponível em: <http://www.abtcp.org.br>. Acesso em: 21 mar. 2017.

ASSOCIAÇÃO DOS FABRICANTES DE CELULOSE E PAPEL – BRACELPA. Disponível em: <http://www.bracelpa.com.br>. Acesso em: 21 mar. 2017.

CARDOSO, M.; OLIVEIRA, E. D.; PASSOS, M. L. **Licor negro de eucalipto kraft proveniente de indústrias brasileiras: características químicas, físicas e seu processamento na unidade de recuperação.** O PAPEL, maio 2006, p.55-70.

Carvalho, P. E. R. (2003). *Espécies arbóreas brasileiras* (Vol. 1). Brasília: Embrapa Informação Tecnológica.

COLODETTE, J. L. Química da madeira. Material didático do curso de pós graduação strictu sensu em tecnologia de celulose e papel. Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Florestal, 2016.

COLODETTE, J. L. **Notas de aula da disciplina ENF 809 –Tecnologia do branqueamento de Celulose**. Universidade Federal de Viçosa, 2015.

COLODETTE, J. L.; GOMIDE, J. L.; CARVALHO, D. M. Composição química de materiais lignocelulósicos. IN: COLODETTE, J. L., GOMES, F. J. B. **Branqueamento de Polpa Celulósica: da produção da polpa marrom ao produto acabado**. Ed. UFV, Viçosa, Minas Gerais, 2015, p.31-58.

CRUZ, Mariluze P. et al. Caracterização química do “pitch” em indústria de celulose e papel de Eucalyptus. **Quim Nova**, v. 29, p. 459-466, 2006.

Dias, Oriane Avancini, and George Simonelli. "Qualidade da madeira para a produção de celulose e papel." *Enciclopédia Biosfera* 9.17 (2013): 3632-3646.

FARIA, Bruno de Freitas Homem. **Produção e avaliação tecnológica da celulose e papel obtidas de misturas de cavacos de *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp.** 2016.

FOELKEL, C. **O processo de impregnação dos cavacos de madeira de eucalipto pelo licor kraft de cozimento**. Eucalyptus Online Book. Capítulo 15. 97 pp. (2009).

FOELKEL, Celso. Os eucaliptos e os elementos não processuais na fabricação de celulose kraft. **Eucalyptus Online Book & Newsletter** < http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT24_ElementosNproces.pdf, 2011.

FREDDO, André et al. Elementos minerais em madeiras de eucaliptos e acácia negra e sua influência na indústria de celulose Kraft branqueada. 1999.

Goldschmid, O. (1971). Ultraviolet spectra. In *Lignins: occurrence, formation, structure and reactions* (pp. 241-298). John Wiley & Sons, New York, NY, USA.

GOMES, F. J. B. **Aperfeiçoamento do branqueamento de polpa kraft da mistura de madeira de *Pinus* ssp. e *Eucalyptus* spp. pela sequência OQD*(PO)D e OQD*(PO)DP**. Tese (Mestrado em Tecnologia de Celulose e Papel) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2010.

GOMES, Fernando José Borges et al. O IMPACTO DA RELAÇÃO SIRINGIL/GUAIACIL NA POLPAÇÃO KRAFT DE EUCALYPTUS.

GOMIDE, José Livio. Tecnologia e química da produção de celulose. **Viçosa-MG. Laboratório de Celulose e Papel, Universidade Federal de Viçosa**, 2006.

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

GOMIDE, J. L. **Monitoramento da remoção dos constituintes da madeira de Eucalyptus e do consumo de reagentes em processo kraft contínuo modificado**. In: Congresso Anual de Celulose e Papel, 1999, São Paulo.

Gomide, J. L., & Demuner, B. J. (1986). Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. *O papel*, 47(8), 36-38.

GULLICHSEN, J., KOLEHMANINEN, H. and SUNDQVIST, H. **On the no uniformity of the kraft cook**, Paperi Puu, 486-490, 1992.

Kleppe, PJ (1970). Polpa Kraft. *Tappi* , 53 (1), 35-47.

Mokfienski, Alfredo, et al. "A importância relativa da densidade da madeira e do teor de carboidratos no rendimento de polpa e na qualidade do produto." *Ciência Florestal* 18.3 (2008).

MOKFIENSKI, A. et al. 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.

MUGUET, MCS. **Métodos alternativos para deposição de xilanas em polpas de eucalipto. 2009. 56 f.** 2009. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Qualidade da Madeira, Tecnologia de Celulose e Papel)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

OLIVEIRA SILVÉRIO, Flaviano et al. Metodologia de extração e determinação do teor de extrativos em madeiras de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 30, n. 6, 2006.

PEDRAZZI, Cristiane et al. Avaliação das propriedades físico-mecânicas de polpas produzidas por novas sequências de branqueamento. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 1, 2010.

PEDRAZZI, Cristiane et al. INFLUÊNCIA DO PROCESSO DE POLPAÇÃO E DO CONTEÚDO DE XILANAS DA POLPA NA BRANQUEABILIDADE INFLUENCE OF THE PULPING PROCESS AND THE PULP XYLANS CONTENT ON BLEACHABILITY. **O papel**, v. 72, n. 5, p. 37-55, 2011.

Quirino, W. F., VALE, A. T., ANDRADE, A. P., Abreu, V. L. S., & AZEVEDO, A. D. S. (2005). Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. *Revista da Madeira*, 89(100), e106.

RABELO, M. S.; SILVA, V. L.; BARROS, D. P., COLODETTE, J. L.; SACON, V. M.; SILVA, M. R.; **Branqueamento de polpa celulósica kraft de eucalipto com peróxido ácido ativado por molibdênio.** *Quím. Nova*, v. 32, n. 5, p. 1095-1098, 2009.

REGAZZI, A. J. Teste para identificar a identidade de modelos de regressão e igualdade de alguns parâmetros num modelo polinomial ortogonal. **Revista Ceres**, v. 40, n. 228, p. 176-195, 1993.

REGAZZI, A. J.; SILVA, C. H. O. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear. I. Dados no delineamento inteiramente casualizado. **Revista de Matemática e Estatística**, v. 22, n. 3, p. 33-45, 2004.

Santos, J. A., & Parra Filho, D. (2012). *Metodologia científica*. Cengage Learning.
SANTOS, Iris Dias. Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica e na contração da madeira e no rendimento e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado. 2010.

SANTOS, Sheila Rodrigues dos. **Influência da Qualidade da Madeira de Híbridos de Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla e do Processo Kraft de Polpação na Qualidade da Polpa Branqueada.** 2005. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
SHIN, N.H. & STRÖMBERG, B. Impact of cooking conditions on pulp yield and other parameters. In: Colóquio Internacional sobre Celulose Kraft de Eucalipto. Viçosa. Anais...Viçosa, UFV, 2003, p. 59-74.

SILVA, Rogério Peixoto; OLIVEIRA, R. C. Efeitos da ação do refino e da reciclagem nas propriedades de papéis de pinus e eucalipto. **Revista Árvore**, v. 24, n. 2, p. 349-360, 2000.
SILVERIO, F. C. **Caracterização de extrativos de madeira de eucalyptus e depósitos de pitch envolvidos na fabricação de celulose e papel.** Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 157p. 2008.

SIMÃO, J. P.; EGAS, A. P. V.; BAPTISTA, C. M. S. G.; CARVALHO, M. G.; CASTRO, J. A. A. M. **Evolution of methylglucuronic and hexenuronic acid contents of Eucalyptus globulus pulp during kraft delignification.** *Industrial & Engineering Chemistry Research*, v. 44, n. 9, p.2990-2996, 2005.

SCANDINAVIAN PULP, PAPER AND BOARD TESTING COMMITTEE. **Scan Test Methods**, Estocolmo, 1993.

SMOOK, G. A. **Handbook for pulp & paper technologists.** Vancouver: A. Wide, 419p. 1994.

SOUZA, Gustavo Souza Lima Bittencourt. **Efeito da impregnação prolongada dos cavacos no rendimento e branqueabilidade da polpa kraft de eucalipto**. 2016.

STATSOFT, I. N. C. **Statistica data analysis software system version 8.0**. Tulsa, USA 2007.

Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI)

VASCONCELOS, F.F.R. **Avaliação do processo SuperBatch™ de polpação para Pinus taeda**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 105p. 2005.

VENTORIM, Gustavo et al. A influência dos ácidos hexenurônicos no rendimento e na branqueabilidade da polpa kraft. **Química Nova**, v. 32, n. 2, p. 373-377, 2009.

6. Anexos:

Tabela 1: Resultados das análises químicas da amostra de eucalipto.

Amostra	Repetição	Densidade	Solub. Alc. Tol.	Solub. Ext. Total	Lignina Klason, %			urônicos %	glicana %	arabiana %	manana %	xilana %	galactana %	Pentosanas %
		Básica, kg/m ³	%	%	Insolúvel	Solúvel	Total							
Eucalipto	A	478	1,53	3	27,6	3,8	31,4	3,3	49,3	0,2	0,6	10,5	1,1	12,1
	B	495	1,46	3	27,7	3,8	31,4	3,7	49,3	0,2	0,6	10,5	1,1	12,1
	Média	487	1,5	3	27,7	3,8	31,4	3,5	49,3	0,2	0,6	10,5	1,1	12,1

Tabela 2: Resultados da análise elementar da amostra de eucalipto

Amostra	Repetição	Análise Elementar, %					Cinzas, %	Sílica, %	PCS, MJ/Kg	PCI, MJ/Kg
		C	H	N	S	O				
Serragem	A	49,7	6,22	0,091	0,375	43,7	0,220	0,044	19,3	18,0
	B	49,6	6,22	0,098	0,331	43,1	0,185	0,034	19,4	18,0
	Média	49,7	6,22	0,095	0,353	43,4	0,203	0,039	19,4	18,0

Tabela 3: Resultados da análise elementar da amostra de eucalipto

Amostra	Repetição	Minerais						
		Ca, mg/Kg	Fe, mg/Kg	Mn, mg/Kg	Mg, mg/Kg	Cu, mg/Kg	K, mg/Kg	Na, mg/Kg
Lignina	A	299,7	10,3	1,6	116,9	4,2	88,6	362,5
	B	315,7	9,9	1,7	111,8	3,7	87,5	371,6
	Média	307,7	9,9	1,7	114,3	3,9	88,0	367,0

Tabela 4: Resultados da polpação Kraft

Tempo min.	Fator H	AE, %	Kappa	Rendimentos, %			Licor Negro		Tempo min.	hexanurônicos
				Depurado	Rejeitos	Total	pH	AEr, g/L		
60'	986	14,8	17,8	53	0,1	53,1	11,7	0	60'	
//	//	//	17,7	52,7	0,1	52,8	11,7	0	//	
//	//	//	17,9	52,5	0,4	52,9	11,7	0	//	
//	//	//	17,1	53,1	0,1	53,2	11,7	0	//	
60'	986	14,8	17,6	52,8	0,2	53	11,7	0	60'	83,87
50'	878	16	17,3	52,8	0	52,8	12	1,5	50'	
//	//	//	17,3	52,4	0,1	52,5	12,1	1,5	//	
//	//	//	17,1	52,5	0,1	52,6	12,1	1,6	//	
//	//	//	16,8	52,3	0	52,3	12	1,5	//	
50'	878	16	17,1	52,5	0,1	52,6	12,1	1,5	50'	87,93
41'	708	17,3	17,4	53	0,1	53,1	12,3	4	41'	
//	//	//	16,7	52,4	0,1	52,5	12,3	4	//	
//	//	//	16,5	52,1	0,1	52,2	12,3	4	//	
//	//	//	17,4	52,6	0,2	52,8	12,3	4,1	//	
41'	708	17,3	17	52,5	0,1	52,6	12,3	4	41'	94,22

31'	624	18,4	17,1	52	0,2	52,2	12,3	6	31'	
//	//	//	16,9	52,3	0,2	52,5	12,3	6,1	//	
//	//	//	17,1	52,3	0,2	52,5	12,3	5,9	//	
//	//	//	17	51,9	0,1	52	12,3	6	//	
31'	624	18,4	17	52,1	0,2	52,3	12,3	6	31'	85,48
27'	499	19,5	17,3	51,5	0,2	51,7	12,4	8	27'	
//	//	//	17,2	52	0,2	52,2	12,4	8,3	//	
//	//	//	17,1	52	0,2	52,2	12,4	7,9	//	
//	//	//	17,2	52,3	0,2	52,5	12,4	8,2	//	
27'	499	19,5	17,2	52	0,2	52,2	12,4	8,1	27'	81,46
21'	421	20,8	17,7	51,9	0,2	52,1	12,4	10,4	21'	
//	//	//	17,9	51,9	0,2	52,1	12,4	10,4	//	
//	//	//	17,8	51,8	0,3	52,1	12,4	10,4	//	
//	//	//	17,5	52	0,2	52,2	12,4	10,4	//	
21'	421	20,8	17,7	51,9	0,2	52,1	12,4	10,4	21'	71,1
15'	312	21,2	18,1	51,5	0,5	52	12,4	12	15'	
//	//	//	18,4	51,8	0,2	52	12,4	12,2	//	
//	//	//	18,4	51,8	0,3	52,1	12,4	12,1	//	
//	//	//	17,9	51,7	0,3	52	12,4	12,2	//	
15'	312	21,2	18,2	51,7	0,3	52	12,4	12,1	15'	79,76
13'	292	22	17	51,1	0,2	51,3	12,4	13,4	13'	
//	//	//	17,5	51,3	0,3	51,6	12,4	13,4	//	
//	//	//	17,1	51,4	0,3	51,7	12,4	13,5	//	
//	//	//	17	50,9	0,1	51	12,4	13,5	//	
13'	292	22	17,2	51,2	0,2	51,4	12,4	13,5	13'	74

Tabela 5: Resultados do pré branqueamento com O₂

Amostra	AER							
	0	2	4	6	8	10	12	14
Alvura polpa marrom	33,4	34,9	36,0	36,9	37,4	34,4	37,6	37,86
Alvura Pre-O2	52,4	52,5	54,7	54,7	54,6	54,2	52,8	57
Ganho de alvura	19,0	17,6	18,7	17,8	17,2	19,8	15,1	19,1
kappa in	17,6	17,1	17	17	17,2	17,7	18,2	17,2
kappa out	10	9,6	9,4	9,4	9,5	9,8	10	9,4
Viscosity in	1186	1145	1106	1100	1094	1137	1097	1082
Viscosity out	999	995	940	930	942	963	949	913
Eficiência	43,2	43,9	44,7	44,7	44,8	44,6	45,1	45,3
Seletividade	0,0406	0,05	0,0458	0,0447	0,0507	0,0454	0,0554	0,0462

Tabela 6: Resultados do branqueamento das amostras

Condições e Resultados	aer0					
	O	D*	(EP)	D _{1 (1)}	D _{1 (2)}	D _{1 (3)}
Consistência, %	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Temperatura, °C	100	85	80	80	80	80
Tempo, min	75	120	120	120	120	120
Pressão, kPa	600	-	-	-	-	-
O ₂ , kg/odt	20,0	-	-	-	-	-
ClO ₂ , kg/odt	-	8,6	-	3,0	4,0	4,4
H ₂ O ₂ , kg/odt	-	-	6,0	-	-	-
NaOH, kg/odt	20,0	-	10,0	-	-	-
H ₂ SO ₄ , kg/odt	-	5,5	-	1,5	1,0	1,0
Kappa	10,0	-	-	-	-	-
Número de Permanganato	-	2	1,9	-	-	0,5
Final pH	12,1	4,5	11,6	5,0	4,9	4,8
Reagente Consumido, %	-	100,0	71,3			98,0
¹ Alvura, % ISO	52,4	75	84,5	89,5	89,6	90,1
² Reversão de Alvura., % ISO	-	-	-	87,4	87,3	88,2
³ Reversão % ISO	-	-	-	2,1	2,3	1,9
Viscosidade, mPa.s	999	-	830	-	-	817
HexAs, mmol/kg de polpa	-	-	-	-	-	5

Condições e Resultados	aer2					
	O	D*	(EP)	D _{1 (2)}	D _{1 (2)}	D _{1 (3)}
Consistência, %	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Temperatura, °C	100	85	80	80	80	80
Tempo, min	75	120	120	120	120	120
Pressão, kPa	600	-	-	-	-	-
O ₂ , kg/odt	20	-	-	-	-	-
ClO ₂ , kg/odt	-	7,9	-	4,0	5,0	6,0
H ₂ O ₂ , kg/odt	-	-	6,0	-	-	-
NaOH, kg/odt	20,0	-	10,0	-	-	-
H ₂ SO ₄ , kg/odt	-	6,0	-	1,5	1,0	1,0
Kappa	9,6	-	-	-	-	-
Número de Permanganato	-	3	2,3	-	-	0,5

Final pH	12,1	4,5	11,6	4,6	4,7	4,3
Reagente Consumido, %	-	100,0	58,6			100,0
¹ Alvura, % ISO	52,5	74,6	85,8	89,5	89,8	90,0
² Reversão de Alvura., % ISO	-	-	-	86,4	86,9	87,8
³ Reversão % ISO	-	-	-	3	2,9	2,1
Viscosidade, mPa.s	995	-	815	-	-	771
HexAs, mmol/kg de polpa	-	-	-	-	-	2

Condições e Resultados	aer4					
	O	D*	(EP)	D ₁ (1)	D ₁ (2)	D ₁ (3)
Consistência, %	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Temperatura, °C	100	85	80	80	80	80
Tempo, min	75	120	120	120	120	120
Pressão, kPa	600	-	-	-	-	-
O ₂ , kg/odt	20	-	-	-	-	-
ClO ₂ , kg/odt	-	7,9	-	1,0	1,5	1,8
H ₂ O ₂ , kg/odt	-	-	6,0	-	-	-
NaOH, kg/odt	20,0	-	10,0	-	-	-
H ₂ SO ₄ , kg/odt	-	6,0	-	3,0	2,5	2,0
Kappa	9,4	-	-	-	-	-
Número de Permanganato	-	3	2,4	-	-	1,2
Final pH	12,1	4,3	11,8	4,3	4,4	4,8
Reagente Consumido, %	-	100,0	55,4			100,0
¹ Alvura, % ISO	54,7	76,4	88,5	88,0	89,8	90,0
² Reversão de Alvura., % ISO	-	-	-	85,6	87,2	87,5
³ Reversão % ISO	-	-	-	2,4	2,6	2,5
Viscosidade, mPa.s	940	-	790	-	-	752
HexAs, mmol/kg de polpa	-	-	-	-	-	11

Condições e Resultados	aer6					
	O	D*	(EP)	D ₁ (1)	D ₁ (2)	D ₁ (3)
Consistência, %	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Temperatura, °C	100	85	80	80	80	80
Tempo, min	75	120	120	120	120	120
Pressão, kPa	600	-	-	-	-	-
O ₂ , kg/odt	20	-	-	-	-	-
ClO ₂ , kg/odt	-	7,9	-	1,0	1,5	2,5

H ₂ O ₂ , kg/odt	-	-	6,0	-	-	-
NaOH, kg/odt	20,0	-	10,0	-	-	-
H ₂ SO ₄ , kg/odt	-	6,0	-	3,0	2,5	1,5
Kappa	9,4		-	-	-	-
Número de Permanganato	-	3	2,4	-	-	0,9
Final pH	12,1	4,4	11,7	4,8	4,2	4,8
Reagente Consumido, %	-	100,0	52,2			100,0
¹ Alvura, % ISO	54,7	75,0	88,9	88,9	89,4	90,0
² Reversão de Alvura., % ISO	-	-	-	86,4	86,1	87,8
³ Reversão % ISO	-	-	-	2,5	3,4	2,3
Viscosidade, mPa.s	930	-	783	-	-	745
HexAs, mmol/kg de polpa	-	-	-	-	-	8

Condições e Resultados	aer8					
	O	D*	(EP)	D ₁ (1)	D ₁ (2)	D ₁ (3)
Consistência, %	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Temperatura, °C	100	85	80	80	80	80
Tempo, min	75	120	120	120	120	120
Pressão, kPa	600	-	-	-	-	-
O ₂ , kg/odt	20	-	-	-	-	-
ClO ₂ , kg/odt	-	7,9	-	3,0	4,0	5,0
H ₂ O ₂ , kg/odt	-	-	6,0	-	-	-
NaOH, kg/odt	20,0	-	10,0	-	-	-
H ₂ SO ₄ , kg/odt	-	6,0	-	2,0	1,5	1,0
Kappa	9,5	-	-	-	-	-
Número de Permanganato	-	3	2,2	-	-	1,1
Final pH	12,0	4,4	11,7	4,3	4,6	4,3
Reagente Consumido, %	-	100,0	58,6			100,0
¹ Alvura, % ISO	54,6	75,4	87,5	89,5	89,7	90,2
² Reversão de Alvura., % ISO	-	-	-	86,7	86,9	87,4
³ Reversão % ISO	-	-	-	2,8	2,9	2,8
Viscosidade, mPa.s	942	-	770	-	-	739
HexAs, mmol/kg de polpa	-	-	-	-	-	1

Condições e Resultados	aer10					
	O	D*	(EP)	D ₁ (1)	D ₁ (2)	D ₁ (3)
Consistência, %	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0

Temperatura, °C	100	85	80	80	80	80
Tempo, min	75	120	120	120	120	120
Pressão, kPa	600	-	-	-	-	-
O ₂ , kg/odt	20	-	-	-	-	-
ClO ₂ , kg/odt	-	8,2	-	4,0	6,0	7,0
H ₂ O ₂ , kg/odt	-	-	6,0	-	-	-
NaOH, kg/odt	20,0	-	10,0	-	-	-
H ₂ SO ₄ , kg/odt	-	5,5	-	1,5	0,5	0,5
Kappa	9,8	-	-	-	-	-
Número de Permanganato	-	3	2,4	-	-	0,5
Final pH	12,0	4,2	11,8	4,6	4,7	4,2
Reagente Consumido, %	-	100,0	66,9			90,1
¹ Alvura, % ISO	54,2	75,2	86,4	89,2	89,8	90,2
² Reversão de Alvura., % ISO	-	-	-	86,2	86,7	87,2
³ Reversão % ISO	-	-	-	3	3,1	3,0
Viscosidade, mPa.s	963	-	752	-	-	736
HexAs, mmol/kg de polpa	-	-	-		-	4

Condições e Resultados	aer12					
	O	D*	(EP)	D ₁ (1)	D ₁ (2)	D ₁ (3)
Consistência, %	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Temperatura, °C	100	85	80	80	80	80
Tempo, min	75	120	120	120	120	120
Pressão, kPa	600	-	-	-	-	-
O ₂ , kg/odt	20	-	-	-	-	-
ClO ₂ , kg/odt	-	8,5	-	3,0	4,0	6,0
H ₂ O ₂ , kg/odt	-	-	6,0	-	-	-
NaOH, kg/odt	20,0	-	10,0	-	-	-
H ₂ SO ₄ , kg/odt	-	5,5	-	2,0	1,5	0,5
Kappa	10,1	-	-	-	-	-
Número de Permanganato	-	3	2,4	-	-	0,5
Final pH	12,1	4,3	11,2	4,7	4,7	4,3
Reagente Consumido, %	-	100,0	68,1			100,0
¹ Alvura, % ISO	52,8	74,5	86,1	89,2	89,4	90,2
² Reversão de Alvura., % ISO	-	-	-	86,5	86,9	87,2
³ Reversão % ISO	-	-	-	2,7	2,5	3,0
Viscosidade, mPa.s	949	-	753	-	-	713
HexAs, mmol/kg de polpa	-	-	-	-	-	1

Condições e Resultados	aer14					
	O	D*	(EP)	D ₁ (1)	D ₁ (2)	D ₁ (3)
Consistência, %	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Temperatura, °C	100	85	80	80	80	80
Tempo, min	75	120	120	120	120	120
Pressão, kPa	600	-	-	-	-	-
O ₂ , kg/odt	20	-	-	-	-	-
ClO ₂ , kg/odt	-	7,5	-	0,5	1,0	1,5
H ₂ O ₂ , kg/odt	-	-	6,0	-	-	-
NaOH, kg/odt	20,0	-	10,0	-	-	-
H ₂ SO ₄ , kg/odt	-	6,0	-	3,5	3,0	2,5
Kappa	9,0	-	-	-	-	-
Número de Permanganato	-	3	2,3	-	1,1	-
Final pH	12,1	4,0	11,7	4,4	4,6	5,0
Reagente Consumido, %	-	100,0	67,5		100,0	
¹ Alvura, % ISO	57,1	74,5	88,9	89,5	90,2	90,5
² Reversão de Alvura., % ISO	-	-	-	87,3	88,2	88,6
³ Reversão % ISO	-	-	-	2,2	2,0	1,9
Viscosidade, mPa.s	913		701	-	689	-
HexAs, mmol/kg de polpa	-	-	-	-	12	-

Tabela 7: Resultados da branqueabilidade das amostras

amostra	0	2	4	6	8	10	12	14
Alvura Pre-O2	52,4	52,5	54,7	54,7	54,6	54,2	54,8	57
Alvura branqueada	90,1	90,0	90,0	90,0	90,2	90,2	90,2	90,2
Reversão de alvura	88,2	87,8	87,5	87,8	87,4	87,2	87,2	88,2
Número de cor posterior	0,25	0,29	0,34	0,29	0,38	0,41	0,41	0,26
kappa in	10	9,6	9,4	9,4	9,5	9,8	10	9,4
kappa out	0,5	0,5	1,2	0,9	1,1	0,5	0,5	1,1
ClO ₂ , kg	13	13,9	9,7	10,4	12,4	14,2	14,5	8,5
H ₂ O ₂ , kg	6	6	6	6	6	6	6	6
TAC	46,7	49,1	38,1	39,9	45,2	49,9	50,7	34,9
Branqueabilidade	0,20	0,19	0,22	0,21	0,19	0,19	0,19	0,24

Tabela 8: Resultados dos testes físicos

Amostra	Revolução	Consumo Energia Wh	°SR	Espe-sura	Peso Esp.	Vol.Esp. Aparente cm ³ /g	T.E.A.	M.O.E.	Índice	Índice	Índice	Alongamento	Opacidade %	Coef. Disp. Luz	Resistencia	resistencia	ciplaridade
				µm	Aparente Kg/m ³		J/m ²	MNm/kg	Tração N.m/g	Arrebtamento kPa.m ³ /g	Rasgo mN.m ³ /g	%		m ³ /kg	Passagem de Ar s/100cm ²	interfibras J/m ²	cm/10min
	0	0	17	150	445,46	2,24	12,62	3,12	19,05	0,78	3,57	1,39	79,28	45,01	0,59	16,85	12,1
	1500	19	25	95	698,73	1,43	78,36	5,77	54,76	2,78	9,25	2,98	73,14	32,82	7,11	40,29	7,5
AERO	3000	40	38	84	787,02	1,27	131,3	6,62	72,1	4,31	10,56	3,88	69,94	28,56	35	138,1	4,9
	4500	57	57	78	857,69	1,16	139,85	6,67	89,01	5,05	10,63	3,72	66,5	24,54	94,58	160,9	2,6
	0	0	17	136	484,41	2,06	12,51	3,46	20	0,76	3,72	1,32	79,35	47,8	2,27	13,75	13
AER6	1500	20	25	99	659,59	1,51	64,2	5,63	51,24	2,7	8,81	2,67	74,38	35,85	9,11	36,54	6,7
	3000	35	35	89	743,82	1,34	111,45	6,25	70,08	4,02	9,59	3,44	71,39	30,78	41,83	70,7	4
	4500	49	49	81	814,81	1,23	134,53	6,68	78,92	4,96	10,7	3,67	67,92	26,76	56	143,1	2,9
	0	0	15	147	450,2	2,22	7,02	2,87	15	0,71	2,91	1,35	79,85	48,18	0,55	13,83	12,5
AER14	1500	20	23	107	617,29	1,62	57,38	5,67	49,14	2,3	8,87	2,47	75,13	37,34	1,67	33,36	7,5
	3000	40	31	91	731,64	1,37	86,82	6,31	62,48	3,47	11,32	3,3	72,77	32,54	7,08	49,22	4,9
	4500	58	43	83	798,91	1,25	103,02	6,21	65,19	4,14	11,84	2,89	70,96	30,24	20,11	65,93	3,5