

BRANQUEAMENTO ECF DA POLPA DE *ACACIA MANGIUM* ORIUNDA DE PLANTIO MISTO COM EUCALIPTO

Autores*: Lucas Recla Lombardi¹
 Ana Marcia Macedo Ladeira Carvalho¹
 Jorge Luiz Colodette¹
 Angélica de Cassia Oliveira Carneiro¹



RESUMO

Este estudo teve o propósito de analisar o comportamento de polpa kraft de madeira de *Acacia mangium* no branqueamento químico com objetivo de 90%ISO de alvura. O material de estudo envolveu polpas provenientes de árvores plantadas em consórcio com eucalipto, sendo três as diferentes proporções de plantio. O branqueamento foi realizado laboratorialmente, simulando condições industriais de branqueamento ECF utilizando a sequência A/d EP DP. Avaliou-se a demanda de CAT (cloro ativo total), branqueabilidade e instabilidade de alvura. O tratamento 4 destacou-se dos demais tratamentos de polpa de acácia por apresentar menor demanda de cloro ativo total, 38,45 kg/tas. A instabilidade de alvura das polpas de acácia branqueadas é elevada, com índices próximos a 0,45, enquanto a polpa de eucalipto teve índice 0,2. O branqueamento da polpa de eucalipto foi realizado mais facilmente, demandando a menor carga de cloro ativo e apresentando os melhores índices de branqueabilidade.

Palavras-chave: acácia, consórcio silvicultural, qualidade da madeira.

INTRODUÇÃO

A qualidade da madeira para produção de celulose é dependente de várias condições intrínsecas ao lenho da árvore, iniciando por sua macroestrutura até a microestrutura da fibrila celulósica. Analisar a qualidade de uma espécie para produção de celulose envolve estudos multidisciplinares, que caracterizam todo o ciclo produtivo da cadeia de celulose e papel.

De acordo com a Associação Brasileira de Celulose e Papel - Bracelpa (2012) -, o desempenho durante o ano 2010 favorece o

novo ciclo de expansão do setor, que prevê investimentos de US\$ 20 bilhões nos próximos dez anos. O objetivo é ampliar a base florestal em 45%, a produção de celulose em 57% e a produção de papel em 30%, chegando-se, respectivamente, a 3,3 milhões de hectares, 22 milhões de toneladas e 12,7 milhões de toneladas.

Dessa forma, a busca por fontes de matéria-prima passou a ser foco nos âmbitos laboratorial e industrial, nos quais, inicialmente, surgiu preocupação restrita ao melhoramento do eucalipto, visto seu elevado potencial já consolidado. Contudo, vem surgindo a busca por espécies alternativas que possibilitem a utilização de sua madeira na polpação química e que proporcionem outros benefícios associados a seu cultivo.

A madeira de acácia se destaca como uma alternativa para a complementação da produção florestal nacional. Além das características já conhecidas desse gênero - como a utilização da casca para extração de taninos (REMADE, 2008) -, sua madeira vem proporcionando significativos resultados para usos múltiplos, assim como para a produção de celulose.

Na Indonésia - onde se localizam as principais indústrias que utilizam acácia para produção de celulose e papel -, existem cerca de dois milhões de hectares de plantios de acácia destinados exclusivamente à indústria de celulose, de modo que, a partir desse gênero, em 2010 aquele país produziu 7 milhões de toneladas de celulose e 10,5 milhões de toneladas de papel, com destaque para as duas principais empresas locais: Asia Pulp and Paper e Asia Pacific Resources International Limited (FOELKEL, 2012).

O plantio misto de diferentes espécies é relatado como uma alternativa eficaz para alcançar resultados significativos em ganho de produção, diferenciação e diversificação de produtos (Vieira *et al.*, 2012).

* Referências dos autores:

1. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG - Brasil

Autor correspondente: Lucas Recla Lombardi, Universidade Federal de Viçosa, 36570-000 - Viçosa, Brasil. Tel: +55 2781160628 – E-mail: lucaslombardi88@gmail.com

O branqueamento ECF (Elementary Chlorine Free) é atualmente o estado-da-arte para branqueamento de polpa de mercado de fibra curta. A ausência de cloro elementar é fator fundamental na diferenciação de mercado, possibilitando às polpas branqueadas ECF terem aceitação nos mercados mais exigentes.

O objetivo desse estudo foi analisar o comportamento da polpa kraft de *Acacia mangium* proveniente de árvores cultivadas em plantio misto com eucalipto no branqueamento químico ECF, de modo que se procurou comparar cinco diferentes tratamentos, incluídas duas referências para controle, com objetivo de 90%ISO de alvura final.

MÉTODOS

O material empregado no experimento é oriundo de cozimento kraft laboratorial, em que a madeira utilizada foi obtida por meio de 5 tratamentos delineados na **Tabela 1**. Os tratamentos envolveram o plantio misto de *Acacia mangium* e do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. Os tratamentos 1, 3, 4 e 5 se referem a madeira de acácia, enquanto o tratamento 2 é referente a madeira de eucalipto. Os plantios foram realizados em cinco talhões, proporcionando a variação da proporção de árvores plantadas em 3 talhões. Um talhão foi destinado ao cultivo de acácia sem presença de eucalipto e outro ao cultivo do eucalipto, sendo esses os tratamentos referências para efeito de comparação.

Tabela 1. Caracterização dos tratamentos empregados

Tratamento	Percentual de árvores na parcela (%)		Espaçamento médio (m ²)
	Eucalipto	Acácia	
1	0	100	9
2	100	0	9
3	80	20	9
4	65	35	9
5	50	50	9

A polpa empregada no branqueamento foi previamente deslignificada com oxigênio, possibilitando características iniciais semelhantes para todos os tratamentos. A caracterização inicial da polpa encontra-se na **Tabela 2**.

Tabela 2. Características das polpas deslignificadas

Tratamento	Kappa	Viscosidade (dm ³ /kg)	Alvura (%ISO)
1	8,73	747	48,1
2	7,96	815	51,98
3	8,58	726	53,25
4	8,01	707	51,98
5	8,94	714	51,98

A seqüência de branqueamento ECF utilizada foi A/D(EP)DP. Essa escolha justifica-se por ser estado-da-arte para branqueamento de celulose de eucalipto no Brasil. O branqueamento das polpas celulósicas de todos os tratamentos foi desenvolvido em duplicata para as duas seqüências, assim, considerando os cinco tratamentos, com duas repetições, foram realizadas 10 seqüências de branqueamento de celulose, sendo cada uma iniciada com 270g a.s. de polpa pós deslignificação com oxigênio.

Para a correta execução dos procedimentos foram realizados testes prévios, utilizando amostras com 10g a.s. de polpa em cada etapa de branqueamento. Nesses testes foram ajustadas as cargas de ácido sulfúrico ou de hidróxido de sódio necessárias para a reação no pH ideal. Além disso, após execução de cada etapa da seqüência, foram confeccionadas folhas com 10 g a.s. para a realização de testes de caracterização do branqueamento (Tappi T218 sp-97).

As condições gerais do branqueamento da polpa estão descritas na **Tabela 3**.

Tabela 3. Condições do branqueamento da polpa celulósica

Condições	Estágios de branqueamento				
	A	D	EP	D	P
Consistência (%)	10	10	10	10	10
Tempo (min)	120	15	120	120	120
Temperatura (°C)	90	78	85	75	75
Fator kappa	-	0,25	-	-	-
ClO ₂ (kg/tas)	-	-	-	8 - 16	-
H ₂ O ₂ (kg/tas)	-	-	3	-	2
NaOH (kg/tas)	-	*	*	*	*
H ₂ SO ₄ (kg/tas)	-	*	*	*	*

*Dosagem de ácido sulfúrico ou hidróxido de sódio necessária para ajustar o pH determinada em teste prévio e variável para cada tratamento.

Estágio ácido – A

O estágio ácido foi efetuado com cerca de 260 gramas de polpa absolutamente seca (a.s.) para a seqüência convencional, conforme condições da Tabela 3. Após aquecimento da amostra e adição da quantidade necessária de ácido, o saco plástico foi fechado e depositado em banho de vapor na temperatura desejada. Finalizado o tempo de reação, mensurou-se o pH. Nessa etapa de branqueamento não houve lavagem da polpa, pois seguiu oxidação com dióxido de cloro.

Oxidação com dióxido de cloro - D

Este estágio foi realizado com amostra de polpa advinda do estágio ácido, nas condições apresentadas na Tabela 3. A amostra recebeu a adição do dióxido de cloro e corrigiu-se o pH com hidróxido de sódio para otimizar o processo de reação e branqueamento.

Após completa homogeneização da polpa com os reagentes, o saco foi fechado e colocado em banho de vapor na temperatura desejada.

Ao finalizar o tempo de reação, foi coletado licor e a polpa lavada com o equivalente a 9 m³ de água destilada por tonelada de polpa seca.

Extração alcalina com peróxido de hidrogênio - EP

Esta etapa de branqueamento foi efetuada com amostras de 250 gramas de polpa absolutamente seca para a seqüência convencional, seguindo as condições apresentadas na Tabela 3.

Após o ajuste do pH e da consistência, adicionou-se peróxido de hidrogênio e homogeneizou-se a polpa, sendo os sacos de polietileno posteriormente depositados em banho-maria. Ao fim do tempo total de reação foi coletada amostra de licor residual e a polpa lavada com o equivalente a 9 m³ de água destilada por tonelada de polpa seca.

Branqueamento com dióxido de cloro - D1

Nos dois últimos estágios de branqueamento realizou-se a otimização dos reagentes aplicados. Assim, 25 gramas a.s. de polpa de cada tratamento foram destinados a aplicação de três cargas de dióxido de cloro, variando de 8 a 16 kg/tonelada a.s., buscando atingir o objetivo final de 90%ISO de alvura.

De posse dos resultados desse estágio de oxidação procedeu-se ao branqueamento com peróxido nos 15 gramas a.s. restantes, empregando-se as condições da Tabela 3.

Com os resultados dos testes preliminares foi executado o branqueamento com a carga maior restante, cerca de 150 gramas a.s., sob as condições apresentadas na Tabela 3, onde a carga de dióxido de cloro utilizada foi resultado da otimização nos testes preliminares.

As amostras de polpa foram homogeneizadas com água destilada, dióxido de cloro e hidróxido de sódio ou ácido sulfúrico para controle do pH, e em seguida os sacos foram lacrados hermeticamente, pré-aquecidos à temperatura desejada em forno micro-ondas e colocados em banho de vapor a temperatura constante.

Ao fim do tempo de reação foi coletado licor para as análises pertinentes, sendo a polpa lavada com o equivalente a 9 m³ de água destilada por tonelada de polpa seca.

Branqueamento com peróxido de hidrogênio - P

O branqueamento com peróxido de hidrogênio foi executado com amostras de aproximadamente 140 gramas de polpa absolutamente seca, nas condições apresentadas na Tabela 3. O licor de branqueamento contendo H₂O₂, H₂O e NaOH ou H₂SO₄ foi adicionado à polpa em temperatura ambiente. Após mistura manual em sacos de polietileno, o material foi aquecido em forno de microondas até a temperatura desejada e transferido para um banho de vapor com controle de temperatura, onde foi mantido pelo tempo pré-estabelecido de

reação. Posteriormente foram extraídas amostras de licor residual para análises de pH e residual de peróxido de hidrogênio. Ao fim, a polpa foi lavada com o equivalente a 9 m³ de água destilada por tonelada de polpa seca.

Avaliação das etapas do branqueamento

Em cada etapa de branqueamento foram realizadas análises ópticas, físicas e químicas. A **Tabela 4** informa a metodologia e as análises utilizadas para caracterização das duas seqüências de branqueamento.

Tabela 4. Parâmetros analisados após os estágios de branqueamento

Parâmetro	Referência
Alvura (%ISO)	Tappi T525
Viscosidade (dm ³ /kg)	Scan CM 15:99
Nº kappa	Tappi T236cm-85
Reversão de alvura* (%ISO)	Tappi UM 200

*reversão de alvura realizada apenas após o último estágio de branqueamento.

De posse dos dados relativos ao consumo de reagentes, da alvura final e do kappa final das diferentes seqüências analisadas foram estimados os índices de cloro ativo total (CAT), branqueabilidade e instabilidade de alvura. O índice de cloro ativo total é expresso por:

$$CAT = (2,63 \times ClO_2) + (2,09 \times H_2O_2) \quad (1)$$

A demanda de dióxido de cloro para alvura de 90%ISO foi mensurada pela interpolação dos resultados obtidos nos testes.

A branqueabilidade foi determinada pela razão entre redução do número kappa no branqueamento e consumo de cloro ativo total para alcançar a alvura de 90%ISO.

A instabilidade de alvura foi expressa pela reversão de alvura e pelo número de cor posterior - NCP. O NCP foi obtido comparando-se as relações entre os coeficientes de absorção e de dispersão da luz, antes e após a reversão da alvura (**Equação 2**), calculado conforme Tappi TIS 017-10.

$$NCP = \left(\frac{K}{S} \text{ depois} - \frac{K}{S} \text{ antes} \right) \times 100 \quad (2)$$

onde:

$$K/S = (1-R)^2/2R$$

$$R = \text{alvura}$$

$$K = \text{coeficiente de absorção da luz}$$

$$S = \text{coeficiente de dispersão da luz}$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De modo geral, o branqueamento da madeira de eucalipto (T2) foi executado mais facilmente que o branqueamento da acácia, independentemente do fator silvicultural empregado. Tal fato já era esperado em vista das diferentes composições químicas das madeiras, principalmente devido ao maior teor de lignina e a baixa relação S/G da madeira de *Acacia mangium*.

A **Figura 1** traz os resultados da demanda de cloro ativo total para atingir o objetivo proposto de 90%ISO de alvura final. Observa-se que o tratamento 2, referente ao eucalipto, obteve o menor valor; 37,46 kg/tas, contudo, o tratamento 4 obteve resultado satisfatório; 38,45 kg/tas.

Além disso, o tratamento referência 1 - monocultivo de acácia -, foi o que obteve a maior demanda de CAT, evidenciando que o cultivo de acácia e eucalipto num mesmo talhão influencia na qualidade da madeira, assim como nas características do branqueamento.

Diferenças são observadas entre os tratamentos 3 e 5, sendo que todos proporcionaram menores demanda de CAT no bran-

queamento quando comparados ao tratamento referência contendo apenas árvores de acácia plantadas no talhão T1.

FOELKEL (2012) ressalta que para a madeira de *Acacia mangium* se estabelecer no mercado internacional de celulose e papel é fundamental a evolução genética da espécie, a fim de melhorar as condições de branqueamento, reduzindo a demanda de cloro ativo total.

A branqueabilidade das polpas está representada na **Figura 2**, onde, seguindo a tendência explicitada pela Figura 1, é ressaltada a diferença do tratamento 2 quando comparado aos demais tratamentos da madeira de acácia.

A branqueabilidade depende da composição química da madeira, da extensão da deslignificação, das condições e do tipo de processo de polpação e das diferentes seqüências e condições operacionais de branqueamento (Duarte e Baptista, 2003).

Observa-se que o eucalipto apresenta maior branqueabilidade, fato mais uma vez relacionado à constituição química dessa madeira. Quanto à branqueabilidade dos tratamentos com madeira de acácia são observadas pequenas diferenças, sendo observada a menor branqueabilidade para os tratamentos 1 e 5.

Outro aspecto importante a definir a branqueabilidade da polpa é a tecnologia de polpação associada às condições de processo. As condições de polpação afetam a natureza da lignina residual, a composição dos carboidratos da polpa e o conteúdo de lignina lixiviável em álcali, de complexos lignina-carboidratos e de ácidos hexenurônicos presentes em polpas kraft de folhosas. Todos esses fatores afetam a branqueabilidade e a estabilidade da alvura de polpas branqueadas (COLODETTE *et al.*, 2002).

A reversão de alvura foi expressa como número de cor posterior, assim, a **Figura 3** retrata a significativa diferença entre as polpas de eucalipto e de acácia, onde as polpas de acácia apresentaram NCP superiores, sendo tal informação preocupante visto o elevado controle de reversão empregado em alguns tipos de papéis.

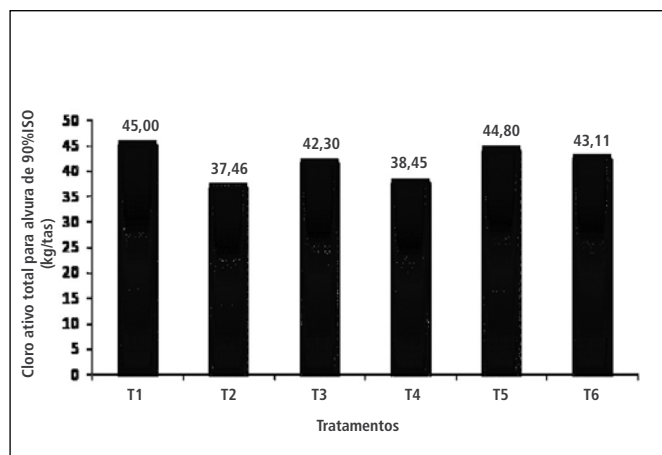


Figura 1. Demanda de cloro ativo total (kg/tas) para o branqueamento a 90%ISO de alvura

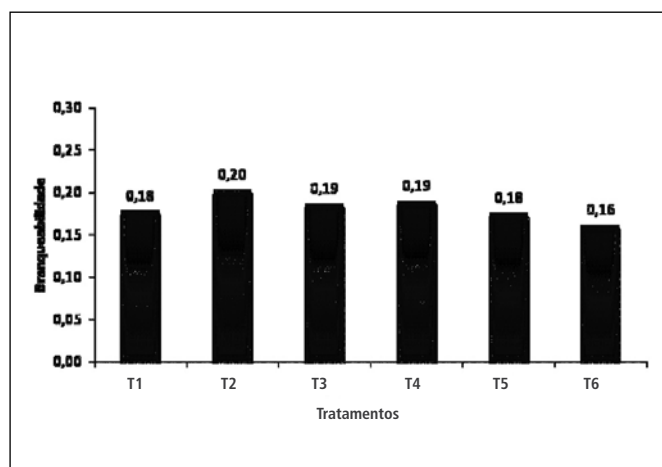


Figura 2. Branqueabilidade das polpas submetidas a seqüência A/D EP D P

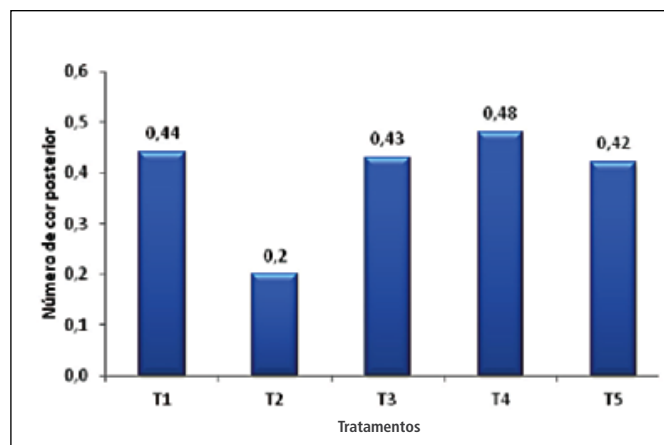


Figura 3. Número de cor posterior referente a estabilidade de alvura dos tratamentos

A reversão de alvura ainda não é um parâmetro totalmente elucidado nos meios industrial e acadêmico, de forma que diversos fatores podem afetar a polpa expondo-a a elevados níveis de reversão. Contudo, a literatura destaca o teor de ácidos hexenurônicos na polpa (Vuorinen *et al.*, 1996; Buchert *et al.*, 1997), o teor de grupos carbonilas (Sjöströme Eriksson, 1968; Rapsone Spinner, 1979), o teor de extrativos em dicloro-metano na polpa (Forsskahl, 2000) e o teor de metais (Jansone Forsskahl, 1989) como os principais fatores causadores de tal índice de qualidade.

Neste trabalho foi observado alto teor de extrativos na madeira de *Acacia mangium* em todos os tratamentos, bem como altos índices de hexenurônicos na polpa branqueada, sendo tal fator um possível indicador responsável pela alta reversão de alvura nas polpas de acácia.

CONCLUSÕES

O plantio misto de acácia e eucalipto influenciou na demanda de químicos de branqueamento. O branqueamento da polpa de eucalipto foi realizado mais facilmente, demandando menor carga de cloro ativo. Quanto aos outros parâmetros analisados, a instabilidade de alvura e a branqueabilidade também foram favoráveis para a polpa de eucalipto. Contudo, os tratamentos 3 e 4 apresentaram bom desempenho.

O tratamento 4 diferenciou-se no branqueamento ECF, demandando menor carga de cloro ativo total para atingir a alvura objetivo de 90%ISO. Tal fato é justificado pela diferença na composição química dessa madeira - menor teor de lignina insolúvel -, quando comparada aos demais tratamentos referentes a polpa de acácia.

A reversão de alvura para a polpa branqueada de *Acacia mangium* é um parâmetro crítico, item em que ocorreram índices elevados quando comparado ao eucalipto. ■

REFERENCES

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL – BRACELPA. *Conjuntura Bracelpa* num.39. São Paulo, 5p. 2012. Disponível em: < <http://www.bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/conjuntura/CB-039.pdf>>. Acesso em: 5 set. 2012.
- Buchert, J., Bergnor, E., Lindblad, G., Viikari, L. *Significance of xylan and glucomannan in the brightness reversion of kraft pulps*, Tappi Journal, vol. 80, num. 6, pp.165-170.(1997)
- Colodette, J.L., Gomide, J.L., Girard, R., Jaaskelainen, A.S., Argyropoulos, D. *Influence of pulping conditions on Eucalyptus Kraft pulp yield, quality and bleachability*, Tappi journal, vol.1, pp.12-24. (2002)
- Duarte, A.P., Baptista, C. *Influence of pulping conditions on the bleachability of softwood kraft pulp*, Keynote lectures.WPP. p.49-55. (2003)
- Foelkel, C., *Os eucaliptos e as leguminosas: Acacia mangium*”. Eucalyptus online book. 112pp. (2012)
- Forsskahl, I., *Papermaking Science and Technology*. In: Gullichsen, J.,Paulapuro, H. (Ed). Atlanta-USA: Tappi Press, pp. 277-350. (2000)
- Janson, J., Forsskahl, I., *Color changes in lignin-rich pulps on irradiation by light*, Nordic Pulp and Paper Research Journal. vol. 4, num. 3, pp.197. (1989)
- Rapson, W. H.,Spinner, I. H., *Brightness reversion in bleached pulp*. In: The Bleaching of pulp. Atlanta-USA: Tappi Press, pp. 357-391. (1979)
- Revista da Madeira – Remade. *Reflorestamento de acácia: nova fonte de renda para o produtor florestal*. num.117. (2008)
- SCAN – *Scandinavian Pulp, Paper and Board Testing committee*. Stockholm: SCAN cm38:96, cm15:99, w9:59. (1989)
- Sjöström, E., Eriksson, E., *The influence of carboxyl and carbonyl groups on the brightness stability of bleached pulps*, Tappi Journal, vol. 51, num. 1, pp.16-19.(1968)
- Tappi – *Technical Association Of The Pulp And Paper Industry, Tappi Standard Methods*, Atlanta: TAPPI.(1993, 1996 e 2000)
- Vieira, M.,Schumacher, M.V., Liberalesso, E., Caldeira, M.V.W., Watzlavick, L.F., *Plantio misto de Eucalyptus spp. com leguminosas arbóreas fixadoras de nitrogênio*, Floresta e Ambiente.vol.20, num.1. pp.16-25.(2013)
- Vuorinen, T., Teleman, A., Fagerström, P.,Buchert, J., Tenkanen, M., *Selective hydrolysis of hexenuronic acid groups and its application in ECF and TCF bleaching of kraft pulps*, In: INTERNATIONAL PULP BLEACHING CONFERENCE, 1996, Washington. Proceedings... Washington, pp. 43-51.(1996)