

ESTUDO TECNOLÓGICO DA POLPAÇÃO KRAFT  
DE *Acacia mearnsii* De Wild



Martins, M.A.L.<sup>1</sup>  
Foelkel, C.E.B.<sup>2</sup>  
Gomide, J.L.<sup>3</sup>  
Vital, B.R.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Cia de Celulose da Bahia - Camaçari, Brasil

<sup>2</sup>Riocell Rio Grande Cia de Celulose do Sul - Guaíba, Brasil

<sup>3</sup>Universidade Federal de Viçosa - Viçosa, Brasil

## 0. Resumo

No presente trabalho foram estudados os efeitos do álcali ativo (14, 15,5 e 17%) e da temperatura de cozimento (160, 165 e 170°C) nas propriedades da polpa kraft de *Acacia mearnsii*. Em estudos de otimização de cozimento foram estabelecidos modelos matemáticos, expressando as propriedades de cozimento em função desses parâmetros, que foram interpretados pela técnica da superfície de resposta.

Foram também, produzidas polpas kraft de *Eucalyptus saligna* em três condições de cozimento (14%AA e 160°C, 15,5 % AA e 165°C, 17%AA e 170°C), utilizando-se a análise de variância e co-variância para os estudos comparativos das propriedades das polpas e dos licores residuais das espécies.

As polpas de *Acacia mearnsii* apresentaram rendimentos bruto e depurado, solubilidade em soda a 5% e viscosidade superiores às das polpas de *Eucalyptus saligna*. As resistências à tração e ao arrebentamento e ao alongamento das polpas de *Acacia mearnsii* foram superiores às de *Eucalyptus saligna*, quando refinadas a 25°SR e inferiores quando refinadas a níveis mais altos de grau Schopper-Riegler.

Os resultados obtidos demonstraram que a madeira de *Acacia mearnsii* é matéria-prima de boa qualidade para a produção de celulose kraft com rendimentos e propriedades óticas e físico-mecânicas adequadas.

## 1. Introdução

O mundo tem exigido um crescente desenvolvimento da produção de madeira, visando suprir os diversos campos de sua aplicação. Estudos recentes informam que, no Brasil, os recursos tradicionais para a produção de celulose (*Eucalyptus* e *Pinus*) não conseguirão, provavelmente, suprir a demanda nos

-----  
Trabalho apresentado no III Congresso Latino-Americano de Celulose e Papel - em São Paulo - Brasil - de 21 à 26 de Novembro de 1983.

próximos anos. Em vista disso, faz-se necessário estudar ou tras matérias-primas que poderão auxiliar a indústria de celulose e papel a encontrar opções para a obtenção de um produto final dentro das características exigidas pelo mercado consumidor. Foi imbuído com esse ideal que nos propusemos a estudar, tecnologicamente, o aproveitamento industrial da madeira de *Acácia mearnsii* De Wild para a produção de polpa celulósica kraft.

A *Acácia mearnsii* De Wild, também chamada *Acácia molissima* e conhecida comumente como acácia negra, é originária do sudoeste da Austrália, sendo que o seu cultivo se estende em muitas partes do mundo, tais como Nova Zelândia, Índia, Ceilão e principalmente África do Sul (4). É resistente à seca e ao frio, desde que este não seja muito prolongado, resistindo a temperaturas entre -39°C e 38-40°C, sendo que, em temperaturas mais elevadas, ocorre o aparecimento de doenças. A altitude de ocorrência natural está entre 500 e 1.500m (13). Necessita de precipitação anual de mais de 890mm e geralmente é plantada em regiões onde a precipitação é superior a 1015mm (4).

No Brasil, a *Acácia mearnsii* foi introduzida em 1916 pela Cia. Geral de Indústria no Município de São Leopoldo (RS). Em 1918 e 1919 houve o primeiro plantio em escala comercial no Rio Grande do Sul, no Município de Estrela (13). Frente aos bons resultados econômicos advindos da exploração da mesma, pois a casca é vendida para extração de taninos e a madeira é comercializada para conversão a celulose, chapas de aglomerado e energia, a acácia negra é a segunda essência florestal plantada no Rio Grande do Sul, perdendo em área apenas para o eucalipto (12).

A acácia negra tem seu ciclo de aproveitamento em torno de 7 a 10 anos. Aos 7 anos, tem uma produção média por hectare de 170 a 200 estêreos de madeira e 10500 a 12000kg de casca seca (7, 13, 14). Com mais idade, o rendimento é maior, não devendo porém passar de 12 a 14 anos pois, a partir desta idade, a mortalidade das árvores torna-se acentuada. Importante é considerar a grande possibilidade de se aumentar os rendimentos dos acaciais por melhoramento genético, pois quase nada foi feito ainda neste sentido (7).

O consumo dessa espécie é ainda pequeno na indústria de celulose, existindo poucos estudos que demonstram a viabilidade do uso dessa matéria-prima isoladamente para a obtenção de um produto final competitivo com as propriedades alcançadas pelas espécies do gênero *Eucalyptus*.

REDKO (18) estudou a obtenção de polpa de celulose a partir de sobra de madeira de acácia negra proveniente da atividade de extração de tanino dos curtumes do Rio Grande do Sul. A autora concluiu que seria possível aproveitar o excedente dessa madeira, produzindo cerca de 500.000t anuais de pasta celulósica de boa qualidade.

MANTEROLA (16) realizou um estudo com *Acácia melanoxylon*, *A. mearnsii* e *A. pycnantha*, visando a obtenção de polpa de celulose, visto que essas espécies são de fácil adaptação e de rápido crescimento em algumas áreas florestais da Espanha. Os resultados não foram muito encorajadores, embora o uso dessas acácias para a polpação semi-química não foi inteiri-

ramente impraticável.

HANNAH *et alii* (15), trabalhando com três espécies de *Eucalyptus* de rápido crescimento, *E. fastigata*, *E. regnans* e *E. nitens*, e duas espécies de *Acacia*, *A. decurrens* e *A. mollissima*, todas polpeadas pelo processo kraft e branqueadas pela sequência DcEHD, concluíram que tanto as espécies de *Acacia* como as de *Eucalyptus* seriam adequadas para produção de polpas para o uso na maioria dos papéis finos encontrados no mercado.

FOELKEL *et alii* (7) chegaram à conclusão que a qualidade da madeira e da celulose kraft de *Acacia mollissima* é similar a do eucalipto, não havendo pois restrições ao seu uso pela indústria brasileira de celulose e papel de fibra curta.

No presente trabalho foram estudados diferentes níveis de carga química de álcali ativo e de temperatura máxima de cozimento, mantendo-se as outras variáveis do processo kraft constantes. O objetivo deste procedimento foi de:

a) estabelecer modelos estatísticos que explicassem a variação das propriedades estudadas, em função da variação do álcali ativo e da temperatura de cozimento;

b) dentro do intervalo dos parâmetros escolhidos, estabelecer o ponto de ótimo para cada uma das propriedades da celulose.

Além disso, procurou-se também avaliar comparativamente, os desempenhos no polpeamento e as qualidades das polpas kraft de *Acacia mearnsii* e do *Eucalyptus saligna*.

## 2. Material e métodos

O material utilizado neste experimento consistiu de cavacos industriais de *Acacia mearnsii* e *Eucalyptus saligna*, amostrados, ao acaso, no pátio de cavacos da RIOCELL (Rio Grande Cia. de Celulose do Sul), situada no município de Guaiíba - RS. A madeira utilizada por essa indústria provém de um raio máximo de 100km e as idades mais usuais de abate são de 8 a 9 anos para a *Acacia mearnsii* e 7 a 9 anos para o *Eucalyptus saligna*.

Os cavacos foram classificados com o auxílio de uma peneira vibratória sendo utilizados os que ficaram retidos entre as peneiras de distância de barras de 8mm a 4mm. Após a seleção, os cavacos foram secados ao ar, homogeneizados e armazenados em sacos plásticos para evitar alterações em seu teor de umidade. Amostras representativas dos cavacos das duas espécies foram coletadas ao acaso e transformadas em pequenos palitos, que foram tratados, a quente, com solução nítrico-acética para separação das fibras. As fibras após coloração com safranina foram medidas com auxílio do microscópio (diâmetro da fibra, diâmetro do lúmen e espessura da parede celular) ou utilizando a técnica de projeção (comprimento). Foram medidas 150 fibras para cada espécie. Com os resultados obtidos calcularam-se as seguintes relações entre as dimensões fundamentais das fibras: coeficiente de flexibilidade, fração parede, índice de Runkel e índice de enfeltramento.

A densidade básica das amostras de madeiras foi determinada usando o método do máximo teor de umidade, conforme citado por FOELKEL (9). A densidade a granel foi determinada

enchendo-se de cavacos um recipiente cilíndrico de volume e peso conhecidos, tendo-se o cuidado de não comprimir o material. Após pesagem e determinação do teor de sólidos dos cavacos, procedeu-se o cálculo da referida propriedade. As análises químicas da madeira de *Acacia mearnsii* e *Eucalyptus saligna* foram realizadas segundo normas da ABCP (Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel) à exceção de determinação de holocelulose que foi realizada através de um tratamento com clorito de sódio acidificado (2).

O processo adotado para a deslignificação dos cavacos foi o kraft. Para cada condição de cozimento foram realizadas três repetições. As seguintes condições de cozimento foram mantidas constantes para os cavacos de ambas as espécies: a) tempo até temperatura máxima = 90 min; b) tempo à temperatura máxima = 45 min; c) relação licor/madeira = 4/1; d) sulfidez = 20%; e) cavacos = 2000g s.c. (secos em estufa). Para os cavacos de *Acacia mearnsii*, foram utilizadas combinações de álcali ativo (14,0, 15,5 e 17%, base Na<sub>2</sub>O) e de temperatura máxima de cozimento (160, 165 e 170°C), totalizando 27 cozimentos. Para os cavacos de *Eucalyptus saligna*, as condições de polpação se restringiram às seguintes combinações das variáveis álcali ativo e temperatura: a mais amena (14% AA e 160°C), a média (15,5% AA e 165°C) e a mais agressiva (17% AA e 170°C). No final de cada cozimento era recolhida amostra de licor negro para análise do pH, álcali ativo residual, soda e sulfeto de sódio residuais, teor de sólidos dissolvidos e teor de matéria-orgânica. As concentrações de álcali ativo, soda e sulfeto de sódio residuais foram expressas como g Na<sub>2</sub>O/l.

As polpas não-branqueadas, após lavagem e depuração, tiveram as propriedades avaliadas pelas normas TAPPI (número kappa e alvura), ABCP (solubilidade em soda a 5%) e SCAN (viscosidade em solução de etilenodiamina cúprica). O retinamento das polpas de *Acacia mearnsii* e *Eucalyptus saligna* selecionadas (15,5% AA e 165°C e 17% AA e 170°C), pois apresentaram número kappa dentro dos parâmetros utilizados pela indústria nacional de celulose e papel, foi realizado em moinho centrifugal Jokro-Muhle. O grau de refino foi determinado como grau Schopper-Riegler de acordo com o método ABCP. A formação das folhas e os ensaios físico-mecânicos obedeceram à norma TAPPI, sendo que as comparações das propriedades físico-mecânicas das celuloses foram realizadas na polpa não refinada e nos graus Schopper-Riegler de 25,40 e 55SR.

### 3. Análise estatística dos resultados

O desenho estatístico para a caracterização das propriedades das polpas kraft de *Acacia mearnsii* foi um fatorial completo com três níveis de álcali ativo, três níveis de temperatura e três repetições. Os efeitos dessas variáveis foram avaliados por meio de análise de regressão ("stepwise") utilizando o programa "Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)". A melhor equação para cada parâmetro foi escolhida com base na significância dos coeficientes individuais da regressão ( $\alpha = 0,05$ ), no valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e pela análise dos resíduos. As equações obtidas foram utilizadas para estimar superfícies de resposta que auxiliaram a interpretação dos resultados.

A comparação, entre as polpas celulósicas de *A.mearnsii*

*sii* e *E.saligna*, dos rendimentos, número kappa, viscosidade, solubilidade em soda a 5%, alvura e as características do licor negro, foi feita por meio de análise de variância. Enquanto que para as propriedades óticas e físico-mecânicas foi feita por meio da análise de co-variância, sendo a covariável o grau Schopper-Riegler.

#### 4. Resultados e discussão

##### 4.1. Características anatômicas das madeiras

As dimensões das fibras de *A.mearnsii* e *E.saligna* estão apresentadas no Quadro I.

QUADRO I - Características dimensionais das fibras de *A.mearnsii* e *E.saligna*

DIMENSÕES	<i>A.mearnsii</i>	<i>E.saligna</i>
Comprimento, mm		
- média	0,982	1,136
- desvio padrão	0,180	0,167
Largura, $\mu\text{m}$		
- média	18,23	16,83
- desvio padrão	3,13	3,34
Diâmetro do lúmen, $\mu\text{m}$		
- média	9,17	9,46
- desvio padrão	3,11	2,85
Espessura da parede, $\mu\text{m}$	4,53	3,69
Índice de enfeitramento	53,9	67,5
Índice de Runkel	0,988	0,780
Coefficiente de flexibilidade, %	50,3	56,2
Fração parede, %	49,7	43,8

Os dados obtidos para as dimensões das fibras de *A.mearnsii* são comparáveis aos apresentados por GONZAGA *et alii* (12). Quanto ao *E.saligna*, os resultados estão de acordo com os valores normais para esta espécie, conforme BARRICHELO e BRITO (1), embora se possa considerar que o comprimento médio das fibras mostrou-se ligeiramente superior aos valores normais usuais. Numa avaliação preliminar das propriedades físico-mecânicas das polpas das duas espécies, através da observação dos resultados obtidos para as relações fundamentais das fibras, pode-se dizer que, provavelmente, as oriundas de eucalipto deverão ser mais resistentes, pois apresentaram maior comprimento de fibra, maior índice de enfeitramento e maior coeficiente de flexibilidade. Essas qualidades forneceriam resistências superiores à tração, ao arrebetamento, e maiores valores de alongamento.

##### 4.2. Composição química e densidade básica e a granel das madeiras

No Quadro II são apresentados os resultados médios

das análises químicas e das densidades básica e a granel das madeiras de *Acacia mearnsii* e *Eucalyptus saligna*.

A *A.mearnsii*, por apresentar valores superiores de densidades básica e a granel, deverá resultar em maiores rendimentos de produção por volume do digestor, ou seja, será possível colocar um maior peso de cavacos de *A.mearnsii* por unidade de volume do digestor. Paralelamente, os seus valores mais elevados em holocelulose e pentosanas, quando comparada à madeira de *E.saligna*, indica que os cavacos de *A.mearnsii* devem ser deslignificados mais facilmente, resultando em rendimentos levemente superiores em polpa celulósica.

QUADRO II - Composição química e densidades básica e a granel das madeiras de *A.mearnsii* e *E.saligna*

ANÁLISE	<i>A.mearnsii</i>	<i>E.saligna</i>
Densidade:		
- básica, g/cm <sup>3</sup>	0,619	0,491
- a granel, g/cm <sup>3</sup>	0,220	0,182
Solubilidade em:		
- água fria, %	1,39	0,60
- água quente, %	2,03	1,51
- NaOH 1%, %	14,80	10,40
- álcool/benzeno, %	1,81	0,96
- diclorometano, %	0,43	0,32
Teor de:		
- holocelulose, %	80,16	74,00
- pentosanas, %	21,33	14,21
- lignina, %	19,75	25,69
- cinzas, %	0,12	0,22

A maior solubilidade em NaOH a 1%, conjuntamente com a maior solubilidade em água quente e fria, constitui uma desvantagem para a *A.mearnsii*, uma vez que esses materiais se não solubilizados, em sua maioria, durante o cozimento kraft, afetando desfavoravelmente o rendimento final. Quanto ao teor de cinzas, as duas espécies apresentaram valores relativamente baixos, o que provavelmente não deverá causar problemas no processo de recuperação do licor negro.

#### 4.3. Polpação da *Acacia mearnsii*

No Quadro III estão mostradas as equações de regressão obtidas para as propriedades estudadas, em função das duas variáveis do fatorial (carga de álcali ativo e temperatura máxima de cozimento).

##### 4.3.1. Rendimentos

O rendimento bruto e depurado foi desfavoravelmente influenciado pelo incremento da temperatura e do álcali ativo, ao passo que o teor de rejeitos foi favorecido pelo aumento desses parâmetros, como pode ser observado nas Figuras 1, 2 e 3. Na Figura 1, observa-se que a queda no rendimento bruto é linear, quando se mantém o álcali ativo constante e aumenta-se a temperatura. Esses resultados estão de acordo com os ob-

tidos por MARQUES (17). Quando o álcali ativo é aumentado, mantendo-se a temperatura constante, tanto o rendimento bruto como os rejeitos sofrem maior decréscimo no intervalo de 14% a 15,5% de álcali ativo, tendendo, acima desse intervalo a uma queda menos acentuada. Tomando como referência, dentro dos níveis analisados, o peso seco de cavacos adicionados no início do cozimento, pode-se verificar que o aumento de 3% no álcali ativo teve influência mais intensa sobre o rendimento bruto e teor de rejeitos que o aumento de 10°C na temperatura de reação.

#### 4.3.2. Número kappa

Na Figura 4, observa-se que, mantendo-se constante a temperatura máxima de cozimento, o incremento da carga alcali na resulta num decréscimo linear do número kappa. Nota-se também, que para os intervalos estudados, o efeito da temperatura foi mais pronunciado que o do álcali ativo na queda do número kappa, visto que aumentos de 10°C na temperatura máxima de polpação resultaram, para os diferentes níveis de álcali ativo estudados, em decréscimo de 13,6 unidades no número kappa, enquanto que o aumento de 3% no álcali ativo resultaram, para os diferentes níveis de temperatura estudados, numa queda de 9,5 pontos no número kappa.

Dentre os tratamentos estudados, o valor estimado para o número kappa indicou menor valor (13,7) para o álcali ativo de 17% e 170°C de temperatura, o que é explicável por terem sido esses níveis os mais agressivos dos utilizados para a remoção da lignina existente nos cavacos de *Acacia mearnsii*.

#### 4.3.3. Viscosidade e solubilidade em soda a 5%

Nas Figuras 5 e 6 são mostradas as influências das variáveis álcali ativo e temperatura nas propriedades de viscosidade e solubilidade em soda a 5% ( $S_5$ ), respectivamente. Adotando como referência as duas situações extremas 14%AA, 160°C e 17%AA, 170°C, pode-se verificar que há uma queda de 176  $\text{cm}^3/\text{g}$  na viscosidade e de 2,08% na  $S_5$ , indicando, portanto, que com o aumento da agressividade do meio (temperatura e álcali ativo) ocorre uma degradação acentuada dos carboidratos. Tomando como referência o peso seco de polpa, aumentos de 1,5% no álcali ativo ocasionaram decréscimo de cerca de 0,77% na  $S_5$ , enquanto que incrementos de 5°C na temperatura provocaram uma queda de 0,23% na  $S_5$ , o que demonstra que o álcali ativo é o parâmetro que tem maior efeito na variação desta propriedade. Quanto à viscosidade, observou-se que, na faixa de 14,0 a 15,5% de AA, a sua queda foi mais intensa somente quando se trabalhou a 170°C, demonstrando que, nestes níveis, a cinética de degradação dos carboidratos só foi favorecida quando se incrementou de 10°C a temperatura de cozimento.

#### 4.3.4. Alvura

Na Figura 7, observa-se que o aumento de alvura varia ligeiramente com o aumento da temperatura máxima de cozimento. Nas polpas produzidas com 17% de álcali ativo, observou-se um acréscimo de 1,3% ISO na alvura quando a temperatura foi aumentada de 5°C, entretanto, nos níveis estudados, a variação de 1,5% na carga alcalina ativa resulta em resposta mais rápida na alvura da polpa que a variação de 5°C da temperatura de cozimento. O tratamento responsável pelo maior valor de alvura (39,7% ISO) foi o de 17% de álcali ativo e 170°C

QUADRO III - Equações de regressão das propriedades da celulose e do licor negro em função do álcali ativo e da temperatura máxima aplicados no cozimento dos cavacos de *Acacia mangium*

PROPRIEDADES	E Q U A Ç Õ E S	Coefficiente determinação	Desvio padrão
Rendimento bruto (%)	$RB = 218,177+0,614 \cdot 10^{-1}(AA.T)-1,226T-0,628AA^2+0,549 \cdot 10^{-3}AA^4$	0,9362	0,509
Rendimento depurado (%)	$RD = 73,128-0,497 \cdot 10^{-2}(AA.T) - 128,136AA^{-1}$	0,4860	0,512
Rejeitos (%)	$RJ = -130,372+0,447 \cdot 10^{-1}(AA.T)+0,559 \cdot 10^{-3}AA^4-0,534AA^2-0,890T$	0,9814	0,199
Número kappa	$K = -1490,091+202591,7 \cdot T^{-1}-3,159AA+0,745 \cdot 10^{-4}T^3$	0,9606	1,504
Viscosidade (cm <sup>3</sup> /g)	$VS = -10859,95-4,956(AA.T)+923,018AA+67,5T-0,184AA^3$	0,9078	20,21
Solubilidade em soda a 5%	$SC = 23,229-0,319 \cdot 10^{-2}(AA.T)$	0,9367	0,183
Alvura (% ISO)	$AL = 6,262+0,129 \cdot 10^{-1}(AA.T)-0,470 \cdot 10^{-4}AA^4$	0,9306	0,559
Sólidos dissolvidos (%)	$ST = -9,209+0,296 \cdot 10^{-2}(AA.T)+0,104T$	0,9039	0,296
Sólidos orgânicos (%)	$SO = 44,64+0,272 \cdot 10^{-5}T^3+0,113 \cdot 10^{-2}(AA.T)$	0,7346	0,641
Álcali ativo residual (g/l)	$AAR = 29,723+0,3 \cdot 10^{-2}AA^3-0,152T$	0,9926	0,251
Hidróxido de sódio residual (g/l)	$OH = 37,057+0,116 \cdot 10^{-3}AA^4-0,204T$	0,9893	0,253
Sulfeto de sódio residual (g/l)	$HS = -10,139+0,937 \cdot 10^{-2}(AA.T)-0,741AA^4-0,515 \cdot 10^{-8}T^4$	0,9315	0,172

AA - Carga de álcali ativo, como Na<sub>2</sub>O, % base madeira  
 T - Temperatura máxima de cozimento, (°C)



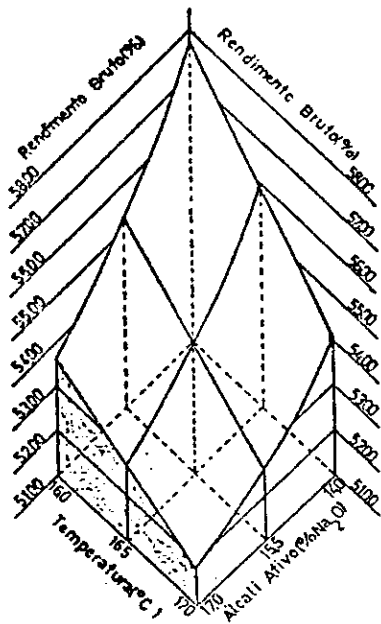


FIGURA 1 - Efeito estimado da temperatura de cozimento e do álcali ativo no rendimento bruto da polpa celulósica.

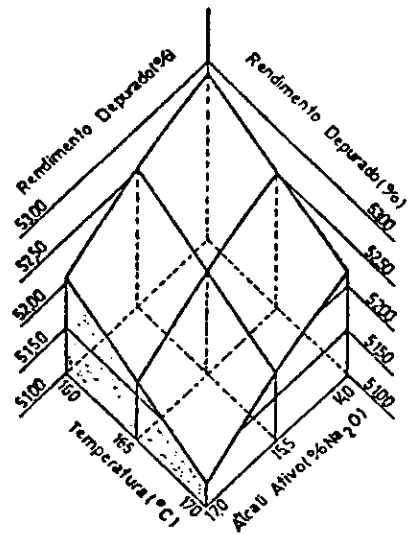


FIGURA 2 - Efeito estimado da temperatura de cozimento e do álcali ativo no rendimento depurado da polpa celulósica.

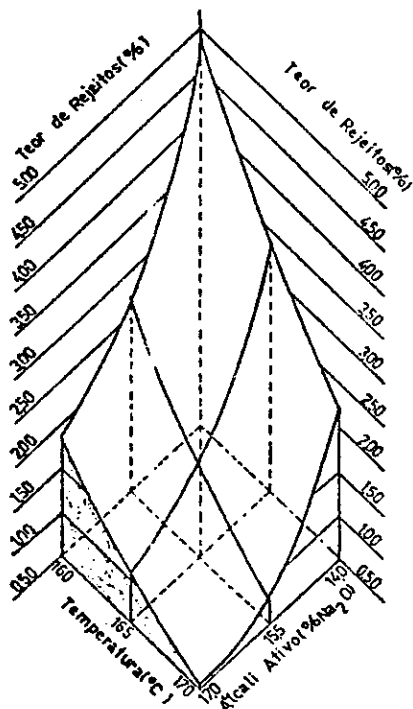


FIGURA 3 - Efeito estimado da temperatura de cozimento e do álcali ativo no teor de rejeitos da polpa celulósica.

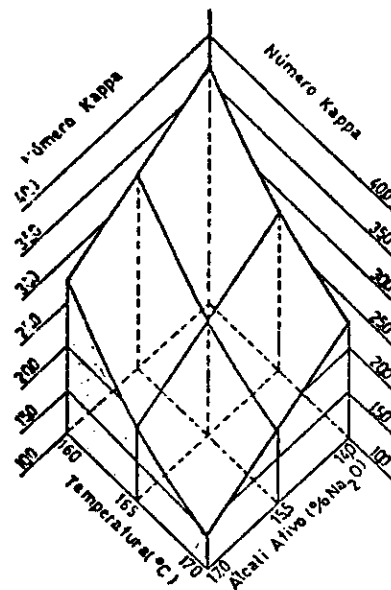


FIGURA 4 - Efeito estimado da temperatura de cozimento e do álcali ativo no número kappa da polpa celulósica.

de temperatura, o que pode ser explicado pelo menor número kappa das polpas desse tratamento.

#### 4.3.5. Sólidos totais e orgânicos dissolvidos no licor residual

Na Figura 8, verifica-se que a medida em que se aumenta a temperatura ou o álcali ativo, os teores de sólidos totais dissolvidos no licor negro aumentam linearmente, sendo que o tratamento realizado com 14% de álcali ativo e 160°C foi o que resultou no menor teor de sólidos (14,08%) no licor residual. Na Figura 9, pode ser observado que, nos níveis estudados, a alteração na temperatura apresentou maior influência no teor de sólidos orgânicos, que a alteração do álcali ativo. Isso pode ser explicado, uma vez que o aumento do álcali ativo no licor de cozimento resulta em maior quantidade de materiais inorgânicos no licor residual, reduzindo, conseqüentemente, a porcentagem relativa dos sólidos orgânicos. O maior valor estimado para a matéria orgânica no licor residual (61,28%) foi obtido no tratamento com álcali ativo de 17% e temperatura de 170°C.

#### 4.3.6. Álcali ativo, hidróxido e sulfeto de sódio residuais no licor negro

O álcali ativo e o hidróxido de sódio residuais, no mesmo nível de álcali ativo, foram desfavoravelmente influenciados pelo incremento da temperatura, ao passo que o sulfeto de sódio residual foi favorecido pelo aumento desse parâmetro, como pode ser observado nas Figuras 10, 11 e 12. Este comportamento do sulfeto de sódio pode ser explicado pelo fato que o seu consumo ocorre no início do ciclo de cozimento, e apenas aquela parte do sulfeto (aproximadamente um terço da carga inicial) inserido no interior dos cavacos após o período inicial de impregnação está disponível para tomar parte nas reações de formação de tioligninas, e nenhum significativo aumento toma lugar durante o equilíbrio do cozimento. Em contraste, o hidróxido de sódio continua a ser consumido através do curso do cozimento (3). A carga alcalina aplicada no cozimento apresentou, dentro dos limites estudados, influência muito maior que a temperatura na concentração residual do álcali ativo no licor negro extraído do digestor. Isso também se aplica para as concentrações residuais de hidróxido e sulfeto de sódio.

#### 4.4. Comparação entre polpas celulósicas de *Acacia mearnsii* e *Eucalyptus saligna*

Para melhor avaliação das polpas celulósicas de *A. mearnsii* foram realizados cozimentos com cavacos de *E. saligna*, que foram utilizados como padrões de referência.

##### 4.4.1. Características gerais das polpas e dos licores residuais

No Quadro IV são apresentadas as médias dos resultados dos cozimentos das duas espécies. Esses foram analisados estatisticamente por meio de análise de variância (Quadro V). Os efeitos do álcali ativo-temperatura (condições) e das espécies foram avaliados, pelo teste "F", ao nível de 5% da probabilidade. Os resultados obtidos para os rendimentos bruto e depurado e teor de rejeitos demonstraram que, nas mesmas condições, a *A. mearnsii* apresenta comportamento superior ao *E.*

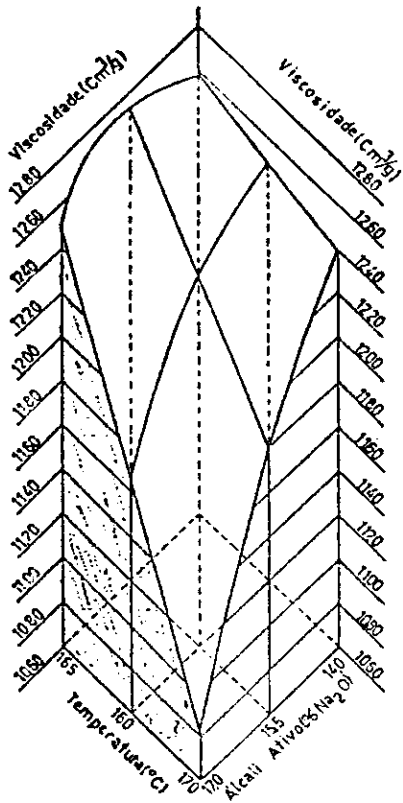


FIGURA 5 - Efeito estimado da temperatura de cozimento e do álcali ativo na viscosidade da polpa celulósica.

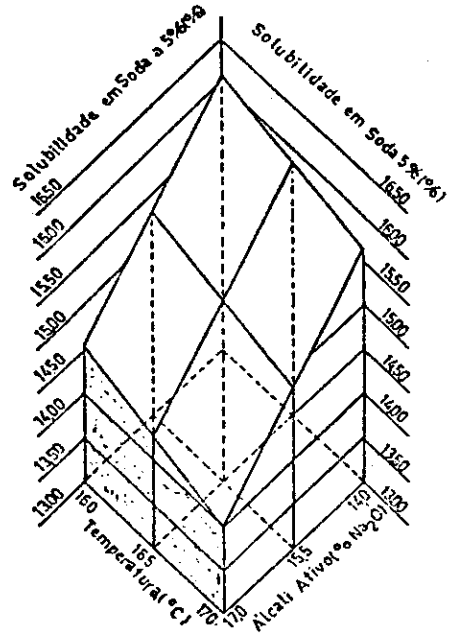


FIGURA 6 - Efeito estimado da temperatura de cozimento e do álcali ativo na solubilidade em soda a 5% da polpa celulósica.

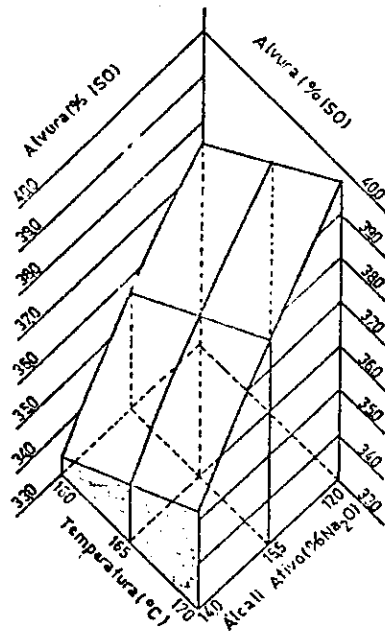


FIGURA 7 - Efeito estimado da temperatura de cozimento e do álcali ativo na alvura da polpa celulósica.

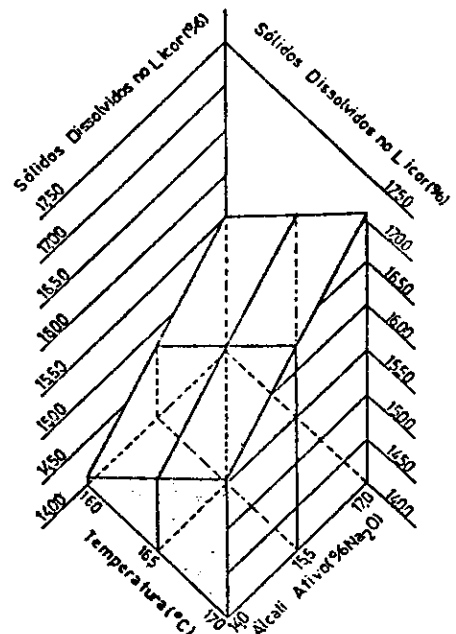


FIGURA 8 - Efeito estimado da temperatura de cozimento e do álcali ativo nos sólidos dissolvidos do licor residual.

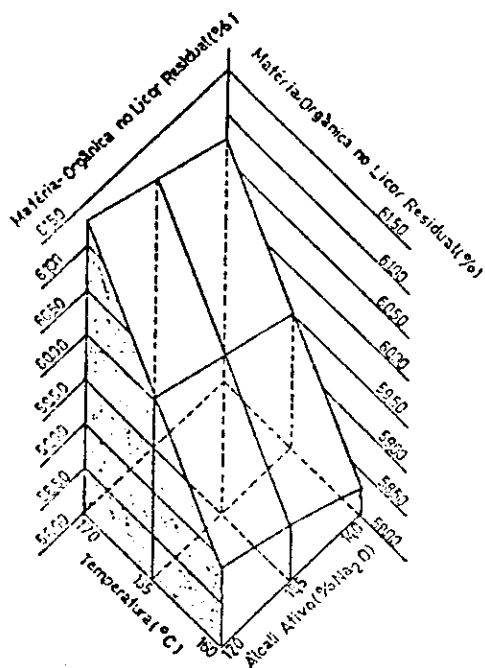


FIGURA 9 - Efeito estimado da temperatura de cozimento e do álcali ativo na matéria-orgânica do licor residual.

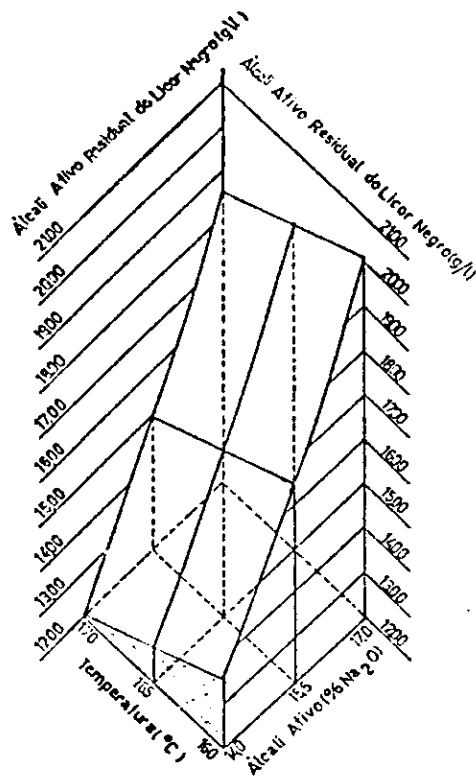


FIGURA 10 - Efeito estimado da temperatura de cozimento e do álcali ativo no álcali ativo residual do licor negro.

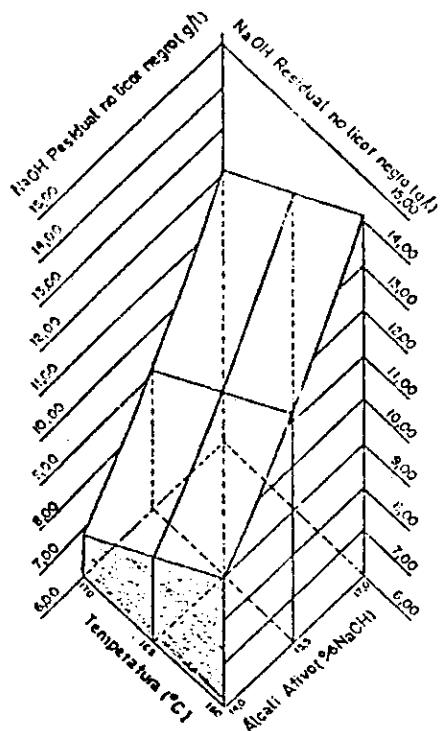


FIGURA 11 - Efeito estimado da temperatura de cozimento e do álcali ativo no hidróxido de sódio residual do licor negro.

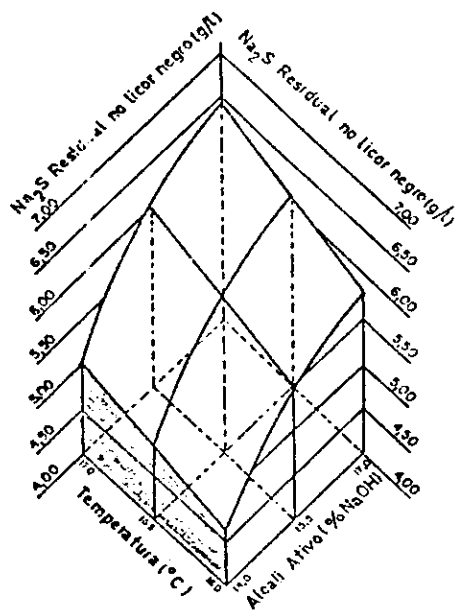


FIGURA 12 - Efeito estimado da temperatura de cozimento e do álcali ativo no sulfeto de sódio residual do licor negro.

*saligna*, visto que teve valores superiores para as duas primeiras propriedades e inferiores para a terceira. Quanto às propriedades de número kappa, solubilidade em soda a 5%, viscosidade e alvura, a análise de variância demonstrou interações significativas entre os efeitos das espécies e condições. Para melhor avaliação dos efeitos isolados de cada condição sobre as espécies foram realizados desdobramentos. Como resultado final, observou-se em todos os níveis e propriedades, com exceção do número kappa na condição de 17%AA e 170°C de temperatura, efeito significativo das três combinações de álcali ativo e temperatura.

Os números kappa das polpas de *A.mearnsii* foram menores que para as de *E.saligna*, possivelmente por causa do menor teor de lignina da madeira de *A.mearnsii*, sendo que na condição mais agressiva (17%AA, 170°C) esta diferença estatisticamente não é significativa. As alvuras mais baixas das polpas de *A.mearnsii* poderão, possivelmente, terem sido causadas pelo teor mais elevado de extrativos nessa madeira, enquanto que seus valores superiores para a solubilidade em soda a 5%, provavelmente, foram devidos ao seu teor mais elevado de carboidratos, conforme demonstrado pelas análises de holocelulose e pentosanas (Quadro II). Os álcalis ativos residuais dos licores de cozimento de *A.mearnsii* foram menores que os de *E.saligna*. Um dos fatores que poderá ter influenciado essa característica é o maior teor em xilanas da madeira de *A.mearnsii* que poderá ter causado maior consumo de álcali nas reações de degradação e desacetilação.

QUADRO IV - Médias das propriedades das pastas celulósicas e dos licores negros obtidos de cozimentos de *Acacia mearnsii* e *Eucalyptus saligna*

E S P E C I E	<i>Acacia mearnsii</i>			<i>Eucalyptus saligna</i>		
Alcali ativo (% Na <sub>2</sub> O)	14,0	15,5	17,0	14,0	15,5	17,0
Temperatura máxima (°C)	160	165	170	160	165	170
Rendimento bruto (%)	57,64	53,81	51,93	56,75	53,12	50,63
Rejeitos (%)	4,82	1,42	0,54	5,97	1,74	0,62
Rendimento depurado (%)	52,81	52,39	51,39	50,78	51,38	50,01
Número kappa	38,3	22,7	15,5	45,9	24,3	16,1
Viscosidade (cm <sup>3</sup> /g)	1244	1238	1077	546	1024	959
Solubilidade em soda 5% (%)	16,0	15,1	13,9	10,3	10,2	9,5
Alvura (% ISO)	33,2	37,3	39,2	35,6	40,7	43,3
<hr/>						
Sólidos totais dissolvidos (%)	14,0	15,5	16,9	14,3	15,8	17,7
Sólidos orgânicos (%)	58,40	59,83	61,37	61,63	61,27	61,77
Alcali ativo residual (g/l)	13,51	15,61	18,53	16,21	18,54	20,92
Hidróxido de sódio residual (g/l)	8,83	9,90	12,13	11,83	13,35	15,14
Sulfeto de sódio residual (g/l)	4,68	5,71	6,40	4,38	5,19	5,77
<hr/>						

POLPA CELULÓSICA

LICOR NEGRO

QUADRO V - Resumo da análise de variância (Teste de F) na comparação das propriedades das polpas celulósicas e dos licores de cozimento e da análise de co-variância na comparação das propriedades óticas e físico mecânicas das polpas celulósicas de *Acacia mearnsii* e *Eucalyptus saligna*

Propriedades	CONDICÕES (C)	ESPÉCIES (E)	INTERAÇÃO (CXE)	COVARIÁVEL (QSR)
Rendimento bruto	191,46**	14,86**	0,54n.s.	
Rendimento depurado	5,48**	20,48**	0,83n.s.	
Rejeitos	298,38**	9,31**	3,62n.s.	
Número kappa	3549,48**	153,84**	69,77**	
Viscosidade	156,02**	989,33**	270,13**	
Solubilidade em soda 5%	83,75**	2812,50	16,75**	
Alvura	746,00**	486,70**	10,90**	
Sólidos totais dissolvidos	147,60**	9,60**	1,70n.s.	
Alcali ativo residual	323,55**	292,36**	1,00n.s.	
NaOH residual	97,88**	263,59**	0,52n.s.	
Na <sub>2</sub> S residual	184,50**	52,50**	2,00n.s.	
Número de revoluções	10,46**	7,75**	0,02n.s.	622,64**
Resistência à tração	1,11n.s.	2,51n.s.	0,03n.s.	253,49**
Alongamento	3,82n.s.	4,76**	0,82n.s.	374,35**
Resistência ao arrebentamento	4,37**	3,00n.s.	1,49n.s.	383,88**
Resistência ao rasgo	3,07n.s.	4,82**	0,16n.s.	116,20**
Volume específico aparente	0,00n.s.	0,00n.s.	0,00n.s.	150,29**
Resistência à passagem de ar	1,31n.s.	3,43n.s.	0,09n.s.	137,50**
Alvura	24,11**	80,37**	0,30n.s.	290,14**
Opacidade	0,17n.s.	18,75**	1,17n.s.	260,92**
Coefficiente de dispersão de luz	3,99n.s.	25,40**	0,55n.s.	224,84**

Simbologia do Teste de "F"

\*\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

n.s. Não significativo ao nível de probabilidade adotado

QUADRO VI - Valores médios das propriedades físico-mecânicas e óticas das polpas celulósicas

E S P É C I E	Acacia mearunsi					Eucalyptus saligna														
	14,5	25	40	55	15,5	17,0	40	55	16,7	25	40	55	16,3	25	40	55	17,0			
Condições	15,5					17,0					15,5					17,0				
Alcali ativo(% Na <sub>2</sub> O)	165					170					165					170				
Temperatura (°C)																				
Grau Schopper-Riegler (9SR)	14,5	25	40	55	15,0	25	40	55	16,7	25	40	55	16,3	25	40	55	17,0			
Número de revoluções	0	4183	8967	11300	0	4100	11283	14133	0	925	7267	11500	0	917	9400	14867				
Resistência à tração (m)	819	9117	11210	11767	954	8247	10743	11230	2249	8007	12628	13550	2006	7676	11985	12311				
Alongamento (%)	0,4	2,62	3,42	3,66	0,5	2,44	3,22	3,44	1,04	2,31	3,87	4,33	1,00	2,07	3,35	3,71				
Resistência ao arrebentamento	0,59	52,0	74,9	82,3	3,1	46,9	62,3	75,3	10,2	46,6	90,8	110,1	7,0	38,5	76,8	85,0				
Resistência ao rasgo	21,8	105,1	116,1	111,2	19,4	97,0	106,5	99,2	44,1	104,5	137,5	129,1	34,2	81,3	122,5	126,6				
Volume específico aparente (cm <sup>3</sup> /g)	2,83	1,68	1,50	1,45	2,86	1,67	1,49	1,46	2,59	1,87	1,51	1,44	2,74	1,84	1,51	1,42				
Resistência à passagem de ar (s/100 cm <sup>3</sup> )	0,20	1,6	16,4	54,7	0,23	1,60	11,5	39,1	0,44	2,60	19,2	72,8	0,33	2,35	15,6	64,7				
Alvura (% ISO)	37,3	30,2	28,3	27,7	39,2	32,7	30,9	30,3	40,7	36,9	32,1	30,5	43,3	38,9	33,3	32,4				
Opacidade - R <sub>0</sub> /R <sub>∞</sub> (%)	98,3	97,1	96,6	96,3	98,5	97,2	96,3	96,1	98,6	97,8	96,7	96,5	98,7	98,2	96,6	96,7				
Coefficiente de dispersão de luz (m <sup>2</sup> /kg)	43,7	29,0	25,6	24,8	45,9	30,6	26,3	25,7	49,6	37,6	28,3	26,0	53,4	42,0	29,8	28,5				



#### 4.4.2. Comparação das propriedades físico-mecânicas e óticas das polpas celulósicas

Os resultados das médias dos dados experimentais das duas espécies, nas condições utilizadas, estão apresentados no Quadro VI. Na análise de variância (Quadro V) de cada propriedade, o grau Schopper-Riegler foi utilizado como covariável, analisando-se as possíveis variações nas propriedades como de correntes das espécies e das condições utilizadas.

##### 4.4.2.1. Número de revoluções

Os resultados demonstraram que, para as condições estudadas e no mesmo grau Schopper-Riegler, com exceção a 55<sup>o</sup>SR, o *E.saligna* precisa de menor energia para o refinamento que a *A.mearnsii*. Constatou-se, também, que a medida em que se aumenta o álcali ativo e a temperatura, era necessário um número mais elevado de revoluções para atingir 40 e 55<sup>o</sup>SR. Isso pode ser explicado, possivelmente, pela queda do teor de hemi-celuloses (S<sub>5</sub>) provocada pela ação mais agressiva das condições sobre os carboidratos.

##### 4.4.2.2. Resistência à tração

A análise de co-variância para os tratamentos realizados (Quadro V) indicou que tanto os efeitos das espécies como o das condições não foram significativos ao nível de probabilidade adotado. Apesar disso, os dados referentes ao *E.saligna*, em todos os níveis, com exceção a 25<sup>o</sup>SR, apresentaram tendências de superioridade em relação aos da *A.mearnsii*. Os maiores comprimentos de auto-ruptura determinados para as polpas de *A.mearnsii* e *E.saligna* foram, respectivamente, 11767m e 13550m.

##### 4.4.2.3. Resistência ao rasgo e alongamento

As polpas de *E.saligna* apresentaram maiores valores de resistência ao rasgo e alongamento que os de *A.mearnsii*, em todos os graus de refino, à exceção de 25<sup>o</sup>SR. O maior índice de rasgo obtido para a *A.mearnsii* foi 116, a 40<sup>o</sup>SR, enquanto que para o *E.saligna* foi de 137,5, no mesmo grau Schopper-Riegler. Quanto ao alongamento, os maiores valores obtidos foram 3,66% e 4,33%, ambos a 55<sup>o</sup>SR, respectivamente para a *A.mearnsii* e *E.saligna*. Todos estes valores foram encontrados na condição de 15,5%AA e 165<sup>o</sup>C.

##### 4.4.2.4. Resistência ao arrebentamento

Os maiores valores encontrados para a resistência ao arrebentamento, 101 e 82, respectivamente, para o *E.saligna* e *A.mearnsii*, foram obtidos a 55<sup>o</sup>SR, na condição de 15,5%AA e 165<sup>o</sup>C. Embora, estatisticamente não tenha sido detectada diferença significativa entre as espécies, diferenças dessa magnitude são importantes para os consumidores de celulose.

##### 4.4.2.5. Volume específico aparente e resistência à passagem de ar

A análise de co-variância mostrou que as condições e as espécies de madeiras não tiveram efeito significativo nessas propriedades. Apesar dessa constatação, observou-se uma tendência das polpas não refinadas de *A.mearnsii* apresentarem valores mais elevados de volume específico aparente que as de *E.saligna* e no nível 25<sup>o</sup>SR, valores inferiores. Essa tendência indica que o volume específico da acácia diminui mais rapidamente que o do eucalipto, nos estágios iniciais do refi-

no.

#### 4.4.2.6. Alvura

A análise de co-variância demonstrou que tanto as espécies como as condições mostraram efeito significativo, ao nível de 5% de probabilidade. Apesar da *A.mearnsii* apresentar, no tempo zero, valores inferiores de alvura, isto não se caracteriza como um fator negativo para o processo de branqueamento, pois em recentes pesquisas desenvolvidas por FOELKEL e colaboradores (10) os resultados indicaram que a polpa kraft de acácia negra pode ser facilmente branqueada, embora mostrando maior instabilidade da alvura final.

#### 4.4.2.7. Opacidade e coeficiente de dispersão de luz

A opacidade e o coeficiente de dispersão de luz apresentaram, na análise de co-variância (Quadro V), comportamentos semelhantes pois, para essas propriedades, somente as espécies foram significativas. O *E.saligna* apresentou valores de opacidade e de coeficiente de dispersão de luz superiores aos da *A.mearnsii*, em todos os níveis de refino.

### 5. Conclusões

Os estudos realizados demonstraram que:

a) A *Acacia mearnsii*, por apresentar maiores densidades básica e a granel e elevado rendimento em polpa, base madeira, permite a obtenção de produção adequada de polpa por volume de digestor. Nas condições experimentais, para a obtenção de uma polpa celulósica com número kappa na faixa de 15 a 17, utilizando 17% de AA e 170°C, a *A.mearnsii* apresentou um rendimento em toneladas de polpa por unidade de volume de digestor cerca de 20% superior ao alcançado pelo *E.saligna*.

b) O teor de rejeitos da polpa de *A.mearnsii*, que usualmente é considerado como uma das desvantagens dessa matéria-prima, foi similar ao da polpa de *E.saligna*, no intervalo de número kappa entre 15 e 25.

c) Quanto à deslignificação, a *A.mearnsii* assemelha-se a outras folhosas comercialmente utilizadas para a produção de polpa celulósica.

d) Considerando os efeitos do álcali ativo e da temperatura sobre as diversas propriedades de cozimento, observou-se que quando se fizerem necessários ajustes no cozimento kraft da *A.mearnsii*, principalmente para a correção do número kappa, seria preferível variar a temperatura máxima de cozimento ao invés da carga alcalina. A temperatura foi mais efetiva para alterar o número kappa, tendo apresentado ação menos efetiva que o álcali sobre a viscosidade, a solubilidade em soda a 5% e o rendimento.

e) Industrialmente, a redução do teor de rejeitos e o aumento da alvura ou da alcalinidade residual do licor negro deverão ser mais eficazmente realizados pela manipulação do álcali ativo que da temperatura.

f) Por causa do alto teor de hemiceluloses, a polpa de *A.mearnsii* deve ser destinada, principalmente, para a produção de polpa para papel. Para a obtenção de polpa para produção de derivados de celulose (acetato, rayon, etc.) seria necessário redução acentuada do teor de hemiceluloses, tendo-se

como consequência, apreciável perda no rendimento final, tornando o processo economicamente menos competitivo.

g) Nas condições de cozimentos estudadas, as polpas de *A. mearnsii*, apesar de terem apresentado resistências ligeiramente inferiores que as de *Eucalyptus saligna*, demonstraram ser perfeitamente viáveis para consumo. Em baixo nível de refino (25<sup>o</sup>SR), as propriedades que dependem da ligação das fibras (resistência à tração, ao arrebitamento, ao rasgo e alongamento) foram superiores para as polpas da acácia, em comparação com as do eucalipto. Indicação de que as polpas de acácia tinham fibras melhor ligadas nesse nível de refino pode ser verificada pela acentuada queda do volume específico a parente nesse nível de refino.

h) Apesar do alto teor de hemiceluloses, as polpas de *Acacia mearnsii* necessitaram de maior energia na refinação que as de *Eucalyptus saligna*.

i) Quanto às propriedades óticas, as polpas de *Acacia mearnsii* foram inferiores às de *Eucalyptus saligna*, pois mostraram alvura, opacidade e coeficiente de dispersão de luz menores.

Como conclusão geral desse experimento, pode-se afirmar que a *Acacia mearnsii* constitui-se em matéria-prima de boa qualidade para a produção de celulose kraft com altos rendimentos e propriedades físico-mecânicas e óticas adequadas.

A madeira de *A. mearnsii* apresenta, em comparação com a de *E. saligna*, teores maiores de holocelulose e menores de lignina, sendo, portanto, sugeridos estudos posteriores sobre a utilização de processos termo-mecâno-químicos para a polpação dessa madeira. Esta sugestão é feita com o objetivo de correlacionar a pesquisa científica com a situação política, econômica e social que a cerca, sendo palpável, no momento, a procura de processos com maiores rendimentos e menores custos de produção.

## 6. Literatura citada

1. BARRICHELO, L.E.G. & BRITO, J.O. A madeira das espécies de eucalipto como matéria-prima para a indústria de celulose e papel. Brasília, PRODEPEF, (13) : 1-74, 1976.
2. BROWNING, B.L. Methods of wood chemistry. New York, Interscience Publishers, 1967, 882p.
3. CASEY, J.P. Pulp and paper chemistry and chemical technology. New York, John Wiley, 1980. vol. 1. 830p.
4. FAO-FOOD AGRICULTURE ORGANIZATION. Elección de espécies arbóreas para plantación. Roma, 1959. pp. 274.
5. FAO-FOOD AGRICULTURE ORGANIZATION, ed. Pulping and paper-making properties of fast-growing plantation wood species. Roma, 1975. pp.25.
6. FOELKEL, C.E.B. & BARRICHELO, L.E.G. Tecnologia de celulose e papel. Piracicaba, Centro Acadêmico "Luiz de Queiroz", 1975. 207p.
7. FOELKEL, C.E.B.; ZVINAKEVICIUS, C. & ANDRADE, J.O.M. A Acacia mollissima como matéria-prima fibrosa para a produção de celulose kraft. Belo Oriente, CENIBRA, 1977. 11p. (Cenibra Pesquisa n<sup>o</sup> 35).

8. FOELKEL, C.E.B. Estrutura da madeira. Belo Oriente, CENIBRA/UFV, 1977. 84p.
9. FOELKEL, C.E.B.; BRASIL, M.A.M. & BARRICHELO, L.E.C. Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. O Papel 33(8) : 57 - 61. 1972.
10. FOELKEL, C.E.B. *et alii*. Informação pessoal, 1982, S.n.t.
11. GOMIDE, J.L., COLODETTE, J.L. & OLIVEIRA, R.C. Estudo das potencialidades do Bambusa vulgaris para a produção de papéis tipo kraft. O Papel 43(7) : 38 - 42. 1982.
12. GONZAGA, J.V. *et alii*. Qualidade da madeira de Acácia me-ansii da região de Guaíba-RS. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4, Anais. Belo Horizonte, 1982. Sociedade Brasileira de Silvicultura.
13. GRANJA, A. Acacicultura. Cópia xerográfica, 2p. S.n.t.
14. GRANJA, A. Acácia negra. In: Grande manual Globo de agricultura, pecuária e receiptuário industrial. 29 ed. Porto Alegre, Editora Globo, 1979. pp. 1-5.
15. HANNAH, R.C.; FERGUS, B.J. & JONES, R.N. Kraft pulping and bleaching studies on young hardwood species. Appita 30 (6) : 483 - 7, 1977.
16. MANTEROLA, J.R. Pastas de celulose a partir de madeira de Acácia melanoxylon, mollissima y picnantha. In: Anales Instituto de Investigaciones Agrarias, Recursos Naturales nº 1 : 227-52, 1974.
17. MARQUES, A.R. Otimização da relação tempo-temperatura na produção de celulose kraft de Eucalytus urophylla de origem híbrida. Viçosa, Universidade Federal, 1979. 53 p. (Tese M.S.)
18. REDKO, B.V.P. A acácia negra como fonte de celulose para papel. In: SEMINÁRIO SOBRE CELULOSE E CONEXOS, 19, São Paulo, Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel, 1967, 5p.