

15/02/84
Celso:
O fruto de um trabalho
já se repartido com quem merece e apoio
Agradeço-te por toda a cooperação e apoio do Senhor
demonstrados. Neste momento, peço ao Senhor para sempre
que a amizade que nos une perdure para sempre!
Ao mestre 
MARCO AURÉLIO LUIZ MARTINS

ESTUDO TECNOLÓGICO DA POLPAÇÃO KRAFT DE Acacia mearnsii De Will.

Tese Apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como Parte das Exi-
gências do Curso de Ciência Florestal,
para a Obtenção do Grau de "Magister
Scientiae".

VIÇOSA - MINAS GERAIS
1983

ESTUDO TECNOLÓGICO DA POLPAÇÃO KRAFT DE
Acacia mearnsii De Wild

por

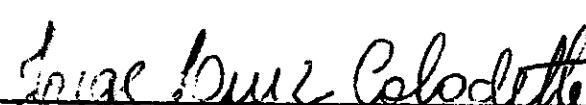
MARCO AURÉLIO LUIZ MARTINS

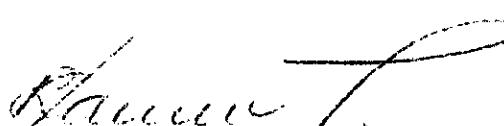
APROVADA:


Prof. Jose Lívio Comide - Orientador


Eng.º Celso Edmundo B. Foelkel - Conselheiro


Prof. Benedito Rocha Vital - Conselheiro


Prof. Jorge Luiz Colodette


Prof. Rubens Chaves Ostyera

Aos meus pais, Wilson e Zeli,
pelo espírito de sacrifício,
luta e dedicação.

Ao meu irmão Paulo Ricardo ("in me
morim"), pelo exemplo.

À minha sobrinha Paula, por um fu-
turo cheio de esperanças.

AGRADECIMENTOS

Ao Engenheiro Celso Edmundo B. Foelkel, pelo inestimável apoio e pelas informações e orientações transmitidas ao longo da elaboração e realização deste trabalho.

Aos Professores José Lívio Gomide e Benedito Socha Vital, pelo incentivo e pela segura orientação.

Ao Professor Jorge Luiz Colodette, pela valiosa cooperação.

À Universidade Federal de Viçosa - U.F.V.- por intermédio do Departamento de Engenharia Florestal, pela oportunidade de realização do Curso.

Aos colegas do curso, pela amizade, pelo estímulo e pelo encorajamento.

À Rio Grande Cia. de Celulose do Sul - RIOCELL - pela concessão da bolsa de estudos, materiais e equipamentos e pela autorização para o desenvolvimento deste trabalho em suas instalações industriais.

Aos funcionários da Divisão de Controle de Qualidade, Pesquisa e Desenvolvimento da RIOCELL, pela colaboração, em especial a Sérgio Menochelli, Ruimar Leão e Edson Prude Borges, pela compreensão e pelo apoio.

Aos Engenheiros Carlos Alberto Buchardo, Augusto Fernandes Milanez, Jorge Vieira Gonzaga, Pedro Paulo Barth, José Vilton Marengo, da Riocell, pelos valiosos esclarecimentos.

A Companhia de Celulose da Bahia, nas pessoas dos Engenheiros Ney Monteiro da Silva e Tarcísio Rebouças, pela compreensão e cooperação.

A Lúcia Appel Cano, Anely Rhoden Martins e Ilma Lopes de Cerqueira, pelo auxílio e pelo estímulo.

Aos amigos da República "Mãe Menininha do Gantois", pela convivência amiga e pelo apoio do dia-a-dia.

BIOGRAFIA DO AUTOR

MARCO AURÉLIO LUIZ MARTINS, filho de Wilson Martins e Zeli Luiz Martins, nasceu em Porto Alegre, Estado do Rio Grande do Sul, aos 9 dias do mês de julho de 1956.

Curso o primário no Grupo Escolar General Sampaio; o ginásial e o científico no Colégio Champagnat, ambos em Porto Alegre.

Em 1976, ingressou na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, graduando-se em Engenharia Química, no dia 20 de dezembro de 1980.

Em 1981, iniciou o curso de Pós-Graduação em Ciéncia Florestal, opção Tecnologia de Celulose e Papel, na Universidade Federal de Viçosa, concluindo os requisitos para a obtenção do grau de "Magister Scientiae" em dezembro de 1983.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE QUADROS	viii
LISTA DE FIGURAS	xi
EXTRATO	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
3. MATERIAL E MÉTODOS	6
3.1. Material	8
3.2. Métodos	8
3.2.1. Determinação da densidade básica da madeira (cavacos)	8
3.2.2. Dimensões das fibras das madeiras	9
3.2.3. Análises químicas das madeiras	10
3.2.4. Produção de celulose	10
3.2.5. Determinação das propriedades das polpas celulósicas	12
3.2.6. Preparo das celuloses para ensaios físico-mecânicos	15
3.2.7. Ensaios físico-mecânicos	15
3.3. Análise estatística dos resultados	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
4.1. Características anatômicas das madeiras	18
4.2. Composição química das madeiras	21
4.3. Densidade básica e densidade a granel dos cavacos	21

	Página
4.4. Polpação da <u>Acacia mearnsii</u>	23
4.4.1. Rendimento bruto em polpa celulósica	23
4.4.2. Rendimento depurado	26
4.4.3. Rejeitos	29
4.4.4. Número kappa	29
4.4.5. Viscosidade	31
4.4.6. Solubilidade em soda a 5% (S5)	34
4.4.7. Alvura	37
4.4.8. Sólidos dissolvidos no licor residual de cozimento	37
4.4.9. Sólidos orgânicos dissolvidos no licor negro	37
4.4.10. Álcali ativo residual no licor negro ...	39
4.4.11. Hidróxido de sódio residual no licor negro	43
4.4.12. Sulfeto de sódio residual no licor negro	42
4.5. Comparação entre as polpas celulósicas de <u>Acacia mearnsii</u> e <u>Eucalyptus saligna</u>	45
4.5.1. Características gerais das polpas e dos licores residuais	45
4.5.2. Comparação entre as propriedades físicomecânicas e óticas das polpas celulósicas	50
4.5.2.1. Número de revolução	50
4.5.2.2. Resistência à tração	54
4.5.2.3. Resistência ao rasto e ao alongamento	54
4.5.2.4. Resistência ao arrependimento ..	55
4.5.2.5. Volume específico aparente e resistência à passagem de ar	55
4.5.2.6. Alvura	56
4.5.2.7. Opacidade e coeficiente de dispersão de luz	56

Página

5. RESUMO E CONCLUSÕES	57
6. LITERATURA CITADA	60
7. APÊNDICE	62

LISTA DE QUADROS

QUADRO	Lági...
1 Análises Químicas das Madeiras	13
2 Condições de Cozimento de <u>Acacia mearnsii</u> ...	14
3 Dimensões e Relações entre as Dimensões Fundamentais das Fibras de <u>Acacia mearnsii</u> e <u>Eucalyptus saligna</u>	19
4 Composição Química e Densidade, Básica e a Granel, das Madeiras de <u>Acacia mearnsii</u> e <u>Eucalyptus saligna</u>	22
5 Médias e Desvios-Padrão das Propriedades da Polpas Celulósica e do Licor Negro Obtidos de Cozimento de Cavacos de <u>Acacia mearnsii</u>	24
6 Equações de Regressão das Propriedades da Celulose e do Licor Negro, Conforme o Álcali Ativo e a Temperatura Máxima de Cozimento dos Cavacos de <u>Acacia mearnsii</u>	25
7 Médias das Propriedades das Pastas Celulósicas e dos Licores Negros Obtidos de Cozimentos de <u>Acacia mearnsii</u> e <u>Eucalyptus saligna</u>	45
8 Resumo da Análise da Variância da Comparação entre as Propriedades das Polpas Celulósicas de <u>Acacia mearnsii</u> e <u>Eucalyptus saligna</u>	47
9 Resumo da análise da Variância da comparação entre as Propriedades dos Licores Residuais Obtidos de Cozimentos de <u>Acacia mearnsii</u> e <u>Eucalyptus saligna</u>	49

QUADRO

Página

10	Valores Médios das Propriedades Físico-Mecânicas e Óticas das Polpas Celulósicas	51
11	Resumo da Análise da Covariância das Propriedades Óticas e Físico-mecânicas das Polpas Celulósicas de <u>Acacia mearnsii</u> e <u>Eucalyptus saligna</u>	52
12	Resumo da Análise da Covariância da Comparação entre as Propriedades Óticas e Físico-mecânicas das Polpas Celulósicas de <u>Acacia mearnsii</u> e <u>Eucalyptus saligna</u>	53
13	Análise da Variância do Número Kappe das Polpas de <u>Acacia mearnsii</u> e <u>Eucalyptus saligna</u>	63
14	Análise da Variância da Solubilidade em Soda e 5% das Polpas de <u>Acacia mearnsii</u> e <u>Eucalyptus saligna</u>	63
15	Análise da Variância da Viscosidade das Polpas de <u>Acacia mearnsii</u> e <u>Eucalyptus saligna</u>	63
16	Análise da Variância da Alvura das Polpas de <u>Acacia mearnsii</u> e <u>Eucalyptus saligna</u>	64
17	Valores Experimentais das Propriedades de Cozimento das Polpas Celulósicas de <u>Acacia mearnsii</u>	65
18	Valores Experimentais das Propriedades dos Licores Negros Obtidos dos Cozimentos de Cavacos de <u>Acacia mearnsii</u>	66
19	Valores Experimentais das Propriedades de Cozimentos das Polpas Celulósicas de Cavacos de <u>Eucalyptus saligna</u>	67
20	Valores Experimentais das Propriedades dos Licores Negros Obtidos de Cavacos de <u>Eucalyptus saligna</u>	68
21	Valores Experimentais das Propriedades Físico-Mecânicas e Óticas das Polpas Celulósicas Não-Refinadas	69

QUADRO

Página

22	Valores Experimentais das Propriedades Óticas e Físico-Mecânicas das Polpas Celulósicas Refinadas a 25°SR	70
23	Valores Experimentais das Propriedades Óticas e Físico-Mecânicas das Polpas Celulósicas Refinadas a 40°SR	71
24	Valores Experimentais das Propriedades Óticas e Físico-Mecânicas das Polpas Celulósicas Refinadas a 55°SR	72

LISTA DE FIGURAS

FIGURA

Página

1	Efeito Estimado da temperatura de cozimento e do álcali ativo no rendimento bruto da polpa celulósica	27
2	Efeito estimado da temperatura de cozimento e do álcali ativo no rendimento depurado da polpa celulósica	28
3	Efeito estimado da temperatura de cozimento e do álcali ativo no teor de rejeitos da polpa celulósica	39
4	Efeito estimado da temperatura de cozimento e do álcali ativo no número kappa da polpa celulósica	32
5	Efeito estimado da temperatura de cozimento e do álcali ativo na viscosidade da polpa celulósica.	33
6	Efeito estimado da temperatura de cozimento e do álcali ativo na solubilidade em NaOH a 5% da polpa celulósica	35
7	Efeito estimado da temperatura de cozimento e do álcali ativo na alvura da polpa celulósica.....	36
8	Efeito estimado da temperatura de cozimento e do álcali ativo nos sólidos dissolvidos do licor residual	38
9	Efeito estimado da temperatura de cozimento e do álcali ativo na matéria orgânica do licor residual	40

FIGURA	Página
10 Efeito estimado da temperatura de cozimento e do álcali ativo no álcali ativo residual do licor negro	41
11 Efeito estimado da temperatura de cozimento e do álcali ativo no hidróxido de sódio residual de licor negro	43
12 Efeito estimado da temperatura de cozimento e do álcali ativo no sulfeto de sódio residual do li- cor negro	44

EXTRATO

MARTINS, Marco Aurélio Luiz, M.S., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 1983. Estudos tecnológicos da polpação kraft de *Acacia mearnsii* De Wild. Professor Orientador: José Lívio Gomide. Conselheiros: Eng.º Celso Edmundo Sochetti Foelkel e Prof. Bendito Rocha Vital.

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 do cozimento, foram estabelecidos modelos matemáticos, expressando-se as propriedades de cozimento com base nesses parâmetros, que foram interpretados pela técnica da superfície de resposta. Foram analisadas as propriedades da polpa (rendimento bruto, rendimento depurado, teor de rejeitos, número kappa, viscosidade, alvura, solubilidade em soda a 5%) e do licor negro (sólidos totais e matéria orgânica dissolvida, álcali ativo residual, hidróxido e sulfeto de sódio residual).

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 covariância dos estudos comparativos das propriedades das polpas e dos licores residuais das duas espécies.

As polpas de *Acacia mearnsii* apresentaram rendimento, bruto e depurado, solubilidade em soda a 5% e viscosidade superiores às das polpas de *Eucalyptus saligna*. A resistência à

bração, ao arredondamento e ao alongamento das polpas de *Acacia mearnsii* foi superior à de *Eucalyptus saligna* quando refinadas a 25°Sf e inferior quando refinadas a níveis mais elevados 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 físicomecânicas e óticas satisfatórios.

I. INTRODUÇÃO

O mundo tem exigido um crescente desenvolvimento da produção de madeira, para 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, prover a demanda nos próximos anos. Diante disso, é necessário estudar outras matérias-primas que possam auxiliar a indústria de celulose e papel na obtenção de um produto final com as características exigidas pelo mercado consumidor.

O Brasil tornou-se grande exportador de celulose justamente pelo empenho de seus técnicos e pesquisadores na adequação do eucalipto às exigências do mercado consumidor internacional. Com o propósito de fornecer mais uma opção à indústria nacional de celulose e papel foi realizado este estudo, em que se analiciou, tecnologicamente, o aproveitamento industrial da madeira de Acacia mearnsii De Wild para a produção de polpa celulósica kraft.

A Acacia mearnsii De Wild, também chamada A. farnesi, mollissima, é conhecida comumente como acácia-negra. É originária da Austrália, tendo sido introduzida no Brasil no início do século, visando à utilização de sua casca na extração de tanino. O principal pólo de adoção foi o Rio Grande do Sul, cujo clima é propício ao seu desenvolvimento.

Inicialmente, toda a produção de madeira da acácia-negra era destinada à indústria de madeira aglomerada e lenha. Com a instalação, no Rio Grande do Sul, da Indústria de Celulose

2

se Borregaard, atualmente Rio Grande Cia de Celulose do Sul - RIOCELL - passou a ser utilizada como matéria-prima complementar na produção de celulose, em mistura com o Eucalyptus. A proporção de acácia-negra na mistura fica em torno de 25%, e os resultados obtidos enquadraram-se nos parâmetros exigidos pelos compradores de polpa de celulose. Não se tem notícia de fábricas nacionais que utilizem 100% de acácia-negra como fonte de fibras para a alimentação de digestores. Isso ocorre, possivelmente, pelo fato de serem escassos estudos dessa madeira. Com o objetivo de preencher essa lacuna foi realizado esse experimento.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Embora representem cerca de 50% da área florestal do globo, as folhosas, por muito tempo, foram deixadas em segundo plano pelos produtores de papel. Esse desinteresse resultava de essas espécies não ocorrerem em maciços puros, de muitas absorverem água com grande facilidade, impedindo o transporte fluvial, e principalmente, de apresentarem fibras curtas, o que, por muitos anos, foi considerado característica indesejável para a produção de papel. Era conceito difundido que a resistência do papel estava associada unicamente ao comprimento das fibras. A partir de 1960, passou-se a observar que outras características da madeira influenciavam de maneira complexa muitos aspectos da produção de papel (6).

A indústria nacional de celulose e papel, graças ao desenvolvimento de tecnologia própria, é fundamentada, principalmente, na utilização de madeiras de eucalipto. O desenvolvimento de "know-how" nacional nas áreas de polpação e produção de papel de eucaliptos permitiu que o Brasil se transformasse num dos maiores exportadores mundiais de celulose de fibra curta (11). O sucesso alcançado pelas espécies do gênero Eucalyptus na produção de celulose e papel, em países mediterrâneos e latino-americanos e na Austrália, contribuiu decisivamente para a queda do errôneo conceito de que só de coníferas se obtinha papel de boa qualidade (6).

Com o avanço científico e tecnológico da utilização do gênero Eucalyptus, abriu-se caminho para o estudo de outras folhosas, tal como a Acacia mearnsii.

A Acacia mearnsii tem sido plantada em muitas partes do mundo, como Nova Zelândia, Índia, Ceylão e principalmente, África do Sul (4). É cultivada no Brasil, onde sua casca, muito rica em tanino é aproveitada, obtendo-se madeira fina e lenha como produtos de menor importância (5). É resistente à seca e ao frio, desde que não seja muito prolongado, resistindo a temperaturas entre 3°C e 38-40°C. Em temperaturas mais elevadas, ocorre o aparecimento de doenças. A altitude de ocorrência natural está entre 500 e 1500m (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 Acacia mearnsii foi introduzida em 1916, pela Cia. Geral de Indústria, no Município de São Leopoldo (RS). Em 1918 e 1919 fez-se o primeiro plantio em escala comercial no Rio Grande do Sul, no município de Estrela (13). A acácia-negra constitui a segunda principal essência florestal plantada nesse Estado, perdendo em área apenas para o eucalipto. A cultura dessa espécie é de fundamental importância para a indústria de tanino, de chapas de aglomerado e de celulose. Graças aos bons resultados econômicos da sua exploração visto que a casca é vendida, para a extração de taninos, e a madeira é comercializada, para conversão em celulose, chapas de aglomerados e energia, tem sido considerada uma das principais alternativas de plantio na área agrícola do Estado (12).

No Rio Grande do Sul, embora desenvolva-se bem na faixa litorânea, seu plantio está concentrado na região central da depressão central do Estado e, em parte, na encosta inferior do Nordeste (13, 14). Segundo GRANJA (14), é plantada em grande escala nessas regiões em razão dos seguintes fatores:

- a) adaptação ao clima e solos da região;
- b) baixo ciclo de rotação, permitindo exploração aos sete anos de idade;
- c) aproveitamento integral da madeira e da casca;

- d) bom mercado consumidor na zona de produção;
- e) facilidade de propagação;
- f) estrutura fundiária da região: propriedades constituídas de minifundios, com pequenas possibilidade de exploração econômica na agricultura ou na pecuária.

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

O consumo dessa espécies é, ainda, muito pequeno na indústria de celulose são poucos os 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 sobre de madeira de acácia-negra proveniente da atividade de extração de tanino dos curtumes do Rio Grande do Sul. Concluiu que seria possível aproveitar o excedente dessa madeira na produção de cerca de 500.000 t anuais de pasta celulósica de boa qualidade.

MANTEROLA (16) realizou um estudo com Acacia melanoxylon, A. mearnsii e A. pycnantha, visando à obtenção de polpa de celulose. Para tanto, realizou diversos cozimentos, utilizando os processos soda a frio, sulfato, sulfito e, especificamente, sulfito semiquímico, com o intuito de conseguir uma polpa para miolo de papelão ondulado. Os resultados não foram muito encorajadores, embora o uso dessas acácias para a polpação semiquímica não tenha sido inteiramente impraticável. A maior

desvantagem foi a dureza das madeiras, o que encarecia a picagem, porque, para penetração adequada do licor de polpação, c₂ veria-se ser usados pequenos cavacos.

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 seqüência DeEH, concluíram que: a) todas as espécies estudadas poderiam ser polpeadas pelo processo kraft e produzir polpas com rendimentos relativamente altos; b) com número kappa igual a 20, A. mollissima produziria mais de 330 kg de polpa s. e. (seca em estufa) por metro cúbico de madeira verde, A. decurrens em torno de 225 kg e as três espécies de Eucalyptus na faixa de 205 a 215 kg; c) as polpas eram facilmente branqueáveis e altos níveis de alvura; d) as polpas branqueadas de Eucalyptus e A. decurrens demonstraram significantes mudanças de propriedades com pequenas energias fornecidas no refino; e) a A. mollissima provou ser mais difícil de refinar. Como conclusão global, os autores admitiram que tanto a Acacia jovem como as espécies de Eucalyptus testadas seriam adequadas à produção de polpas para confecção da maioria dos papéis finos encontrados no mercado.

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

Nesse trabalho foram estudados diferentes níveis de carga química de álcali ativo e de temperatura máxima de cozimento, mantendo-se constantes as outras variáveis do processo kraft constantes, visando a:

- a) estabelecer modelos estatísticos que explicasse a variação das propriedades estudadas, conforme a variação da

álcali ativo e da temperatura de cozimentos;

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

Além disso, procurou-se avaliar, comparativamente, o rendimento no polpeamento e as qualidades das polpas kraft da Acacia mearnsii e o Eucalyptus saligna.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material

O material utilizado neste experimento constou de cavacos industriais de Acacia mearnsii e Eucalyptus saligna, amostrados, ao acaso, no pátio de cavacos da Rio Grande Cia. de Celulose do Sul - RIOCELL - situada no município de Guapé, RS. A madeira utilizada por essa indústria provém de um raio máximo de 100 km, 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, utilizando-se os que ficaram retidos entre as peneiras de barras com distância de 3mm e 4mm. Feita a seleção, os cavacos foram secados ao ar, homogeneizados e armazenados em sacos plásticos, para evitar alterações no teor de umidade.

3.2. Métodos

3.2.1. Determinação da densidade básica da madeira (cavacos)

A densidade básica das amostras de madeira foram determinadas pelo método do máximo teor de umidade, conforme ci-
tação de FOELKEL (9).

A densidade ... granel foi determinada enchendo-se de cavacos um cilíndrico de volume conhecido, com o cuidado de não comprimir o material. A fórmula utilizada no cálculo foi:

guinte:

$$d_g = \frac{P_U \cdot S}{V_C \cdot 100}$$

d_g = densidade à granel, expressa em gramas por centímetro cúbico;

P_U = peso úmido dos cavacos, expresso em gramas;

S = teor dos cavacos secos em estufa, expresso em percentagem;

V_C = volume do cilindro, expresso em centímetros cúbicos.

3.2.2. Dimensões das fibras da madeira

Foram determinados: comprimento, largura, diâmetro do lúmen e espessura da parede celular.

As relações entre as dimensões fundamentais das fibras tem valor na avaliação de sua qualidade para a produção de celulose e papel. Em razão disso, foram calculadas as seguintes:

a) coeficiente de flexibilidade: relação percentual entre o diâmetro de lúmen e a largura da fibra;

b) fração parede: relação percentual entre duas vezes a espessura da parede e a largura da fibra;

c) índice de Runkel: relação entre duas vezes a espessura da parede e o diâmetro do lúmen;

d) índice de enfeltramento: relação entre o comprimento e a largura da fibra.

Para a determinação das dimensões das fibras, alguns cavacos foram coletados, ao acaso, e subdivididos em pedaços menores, que sofreram maceração, para a individualização das fibras. A maceração foi realizada em tubo de ensaio, utilizando-se solução nítrico-acética, a quente, constituída de cinco partes de ácido acético glacial e uma parte de ácido nítrico concentrado. Os tubos de ensaio com os fragmentos de madeira e a

solução macerante foram mantidos em banho-maria durante o tempo necessário para completar a maceração. Depois do tratamento químico, o material foi lavado com água destilada até a completa remoção da solução ácida. Em seguida, foram retiradas amostras, ao acaso, de cada tubo de ensaio e preparadas lâminas, para as medições por projeção (comprimento da fibra) microscópio ótico dotado de ocular micrométrica (demais dimensões). Para melhor visualização dos componentes anatômicos, foi utilizada a safranina como corante. Foram medidas 150 fibras de cada espécie.

3.2.3. Análises químicas das madeiras

Os cavacos coletados no pátio de estocagem da fábrica foram amostrados pela técnica de quarteamento. A seguir, foram reduzidos à serragem em moinho tipo Wiley. A fração que passou pela peneira de malha 40 e ficou retida na de malha 60 (fração 40/60) foi utilizada nas análises químicas.

No Quadro I acham-se as análises químicas realizadas e os métodos correspondentes.

3.2.4. Produção de celulose

O processo adotado para a deslignificação dos caícos foi o kraft, processo dominante no País para a produção de polpa celulósica química.

Os cozimentos foram realizados em autoclave rotativa, com capacidade de 20 litros, aquecida eletricamente e dotada de termômetro e manômetro. A quantidade de cavacos por cozimento foi equivalente a 2000g de madeira seca em estufa.

Para cada condição de cozimento foram realizadas três repetições. O número de cozimentos, para a acácia-negra, foi de 27, enquanto para o Eucalyptus saligna foi de 9, num total de

36. As condições de cozimento para a deslignificação da Acacia mearnsii estão no Quadro 2.

O tempo de cozimento foi o normalmente usado para o gênero Eucalyptus, visando a um estudo comparativo mais eficiente. Bem como a uma alternativa de modificação do processo sem alteração do ritmo de produção das indústrias de celulose.

Os cavacos de Eucalyptus saligna não foram processados em todas as combinações de álcali e temperatura, uma vez que as polpas de eucalipto foram utilizadas, com fins comparativos, na avaliação das propriedades da acácia-negra. As condições de polpação do eucalipto foram: mais amena (14% A.A. e 160°C), média (15,5% A.A e 155°C) e mais agressiva (17% A.A. e 170°C).

Os compostos químicos, para os cozimentos, hidróxido de sódio e sulfeto de sódio, foram utilizados em forma de soluções aquosas. O licor foi preparado no momento do cozimento, conforme a quantidade de madeira s.e., da percentagem de álcali ativo, da sulfidez e da relação licor/madeira. Para a determinação do volume do cozimento foi considerada a umidade da madeira.

Em todos os cozimentos, calculava-se o fator R, visando ao melhor controle da relação tempo-temperatura.

Terminado o cozimento, o digestor era descarregado, e os cavacos amolecidos eram transferidos para um recipiente dotado de tela de malha fina, onde eram lavados. Em seguida, eram desfibrados em moinho de discos, para a individualização das fibras. As polpas eram lavadas e depuradas, para a separação dos rejeitos, utilizando-se um depurador dotado de tela com fendas de 0,2mm de abertura. A seguir, as polpas eram comprimidas manualmente, para a remoção do excesso de água, homogeneizadas e armazenadas em sacos plásticos, para pesagem, determinação de umidade, cálculo do rendimento depurado, análises químicas e confecção de folhas.

No final de cada cozimento era recolhida amostra de licor negro para análise de 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 residual foram expressas em g Na₂O/l.

O rendimento, depurado ou líquido, foi calculado pela relação percentual entre o peso da celulose seca depurada e o peso da madeira seca utilizada. Os rejeitos removidos durante a depuração foram secados em estuda graduada em 105°C ± 3°C. O teor de rejeitos foi expresso pela relação percentual entre o peso dos rejeitos secos e o peso da madeira utilizada. O rendimento bruto foi calculado pela soma do rendimento depurado e do teor de rejeitos.

Objetivando comparar os rendimentos das espécies, tendo como referência um volume constante de digestor, utilizou-se a seguinte fórmula:

$$R = \frac{RD \times GL}{100}$$

R = rendimento em polpa do processo, expresso em toneladas por metro cúbico;

RD = rendimento depurado da espécie, expresso em percentagem;

GL = densidade a granel, expressa em toneladas por metro cúbico.

3.2.5. Determinação das propriedades das polpas celulósicas

As propriedades das polpas de celulose não-branqueadas, após lavagem e depuração, foram avaliadas, para análise da potencialidade da acácia-negra como fonte de matéria-prima para a indústria papeleira, bem como para verificar a influência dos níveis de álcali ativo, temperatura e suas interações.

A determinação do número kappa e da alvura das polpas foi realizada segundo as normas da TAPPI (Technical Associa-

QUADRO I - Análise Química das Madeiras.

Análise Química	Métodos*
Solubilidade em:	
- água fria	ABCP M 4 - 68
- água quente	ABCP M 4 - 68
- NaOH 1 %	ABCP M 5 - 68
- álcool-benzeno	ABCP M 6 - 68
- diclorometano	ABCP M 6 - 68
Teor de:	
- holocelulose	Tratamento com clorito de sódio acidificado (Browning, 2)
- pentosanes	ABCP C 8 - 70
- lignina	ABCP M 10 - 71
- cinzas	ABCP M 11 - 77

* ABCP - Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel.

QUADRO 2 - Condições de Cozimento de Acacia mearnsii.

C O N D I Ç Õ E S	
- Álcali ativo, como Na_2O , %	- 14, 15,5 e 17
- Sulfidez, %	- 20
- Temperatura máxima, °C	- 160, 175 e 170
- Tempo até a temperatura máxima, minutos	- 90
- Tempo à temperatura máxima, minutos	- 45
- Relação licor/madeira	- 4/1

tion of the Pulp and Paper Industry), T 236 M - 60 e T 218 OS-75, respectivamente,

As viscosidades das polpas foram determinadas em solução de etilenodiamina cúprica, conforme o método SCAN-C15. Para analisar a solubilidade em solução de NaOH 5% foi utilizada o método ABCP C 14 - 80.

3.2.6. Preparo das celuloses para ensaios físico-mecânicos

Foram selecionadas para testes físico-mecânicos as polpas de Acacia mearnsii e Eucalyptus saligna produzidas com 15,5 % de álcali ativo, na temperatura de 165°C, e 17,0% de álcali ativo, na temperatura de 170°C, visto que as polpas produzidas com 14,0% de álcali ativo na temperatura de 160°C apresentaram número kappa ($\pm 38,0$) superior ao utilizado, atualmente, pela indústria nacional de celulose e papel.

As polpas celulósicas das doze parcelas escolhidas depuradas, foram refinadas em moinho Kokro-Muhle, tendo sido utilizado o equivalente a 16 gramas de material seco em estufa por panela, na consistência de 6 %. O grau de refino foi determinado como grau Schopper-Riegler, de acordo com o método ABCP C 10/73. A comparação das propriedades físico-mecânicas das celuloses foi realizada com graus Schopper-Riegler de 25, 40 e 55°SR.

A formação das folhas obedeceu à norma da TAPPI, T - 205 OS - 75. Visando a excluir os efeitos de variações do ambiente sobre os resultados físico-mecânicos, as folhas destinadas aos testes eram acondicionadas, por um período de 48 horas, em ambiente climatizado, à temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $50 \pm 2\%$, de acordo com as normas estabelecidas pela TAPPI.

3.2.7. Ensaios físico-mecânicos

Foram realizados os seguintes ensaios físico-mecânicos, calculados conforme o método TAPPI T 220m - 60:

- gramatura: expressa em gramas por metro quadrado;
- resistência à tração: expressa pelo comprimento de auto-ruptura, em metros;
- resistência ao arrebentamento: expressa pelo índice de arrebentamento;
- resistência ao rasgo: expressa pelo índice de rasgo;
- alongamento: expressa em percentagem;
- volume específico aparente: expresso em centímetros cúbicos por grama.

As propriedades óticas das polpas celulósicas (alvura, opacidade e coeficiente de dispersão de luz) foram determinadas em aparelho Elrepho, e a porosidade foi determinada com porosímetro de Gurley, segundo a norma da ABCP PII - 71.

3.3. Análise Estatística dos Resultados

O desenho estatístico para 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 do álcali ativo e da temperatura foram avaliodos por meio de análise de regressão ("stepwise"), utilizando-se o programa "Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)". O grau de ajustamento de cada equação aos dados experimentais foi avaliado pelo coeficiente de determinação (R^2), pela significância dos coeficientes da regressão, testados pelo "t", pela significância da regressão, testada pelo teste "F", ao nível de 5 % de probabilidade, e pela análise dos resíduos. As equações obtidas foram utilizadas para estimar su

perfícies de resposta, que auxiliaram a interpretação dos resultados.

A comparação entre as polpas celulósicas obtidas de *A. mearnsii* e *E. saligna*, rendimentos, número kappa, viscosidade, solubilidade em solução de soda a 5%, alvura e características do licor negro foi feita por meio de análise de variância.

A comparação entre as propriedades físico-mecânicas das duas espécies foi feita por meio da análise de covariância, sendo covariável o grau Schoper-Riegler.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Características anatômicas das madeiras

Os resultados referentes às características anatômicas das madeiras estão no Quadro 3.

Os dados das dimensões das fibras de Acacia mearnsii são comparáveis aos apresentados por GONZAGA et alii (12). Quanto ao Eucalyptus saligna, os resultados estão de acordo com os valores normais para essa espécie, conforme BARRICHELO e BRITO (1), embora se possa considerar que o comprimento médio das fibras tenha sido ligeiramente superior aos valores mais usuais.

No Quadro 3 estão os valores das relações entre as dimensões fundamentais das fibras.

As dimensões das fibras são consideradas referências para estimar as propriedades da celulose e do papel. Outras referências para essa estimativa são as relações entre as dimensões das fibras: índice de enfeltramento, índice de Runkel, coeficiente de flexibilidade, fração parede, etc. Não são apenas as dimensões das fibras que caracterizam as propriedades da celulose e do papel, mas também outras propriedades, como por exemplo, composição química da madeira, densidade básica, etc. Todas essas características também têm elevada importância quando se deseja uma avaliação inicial da resistência física-mecânica da polpa que vai ser produzida.

O coeficiente de flexibilidade permite avaliar a

QUADRO 3 - Dimensões e relações entre as Dimensões Fundamentais das Fibres de *Acacia mearnsii* e *Eucalyptus saligna*.

Propriedades	<i>A. mearnsii</i>		<i>E. saligna</i>	
	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão
Comprimento, mm	0,982	0,180	1,135	0,167
Largura, mm	18,73	3,13	15,83	3,34
Diâmetro do lúmen, mm	9,17	3,11	9,45	2,85
Espessura da parede, mm	4,53	3,65	3,65	2,65
Índice de enfatramento	53,5	67,5	67,5	67,5
Índice de Runkel	0,988	0,780	0,780	0,780
Coeficiente de flexibilidade, %	50,3	55,2	55,2	55,2
Fração parede, %	49,7	43,8	43,8	43,8

potencialidade de ligações interfibras na fabricação da folha de papel. O eucalipto, por apresentar maior coeficiente de flexibilidade (55,2%), deverá ter maior capacidade de interligações entre fibras que a acácia-negra (50,3%).

O índice de Runkel é outra estimativa da capacidade de interligação das fibras. Tanto a acácia como o eucalipto apresentaram valores inferiores à unidade (0,988 e 0,780, respectivamente), o que indica potencialidade para a produção de celulose de boa qualidade.

Os elevados valores encontrados para a fração parede (49,7% para A. mearnsii e 43,8% para E. saligna) indicam que essas fibras são rígidas e deverão formar folhas de papéis com elevado volume específico aparente, elevada porosidade, elevada opacidade e boa capacidade de absorção.

O eucalipto apresentou índice de enfeltramento mais elevado que o da acácia, o que indica sua superioridade para a produção de celulose. Entretanto, alguns autores, citados por Foelkel (8), não consideram esse índice informação válida para a caracterização da qualidade da madeira para a produção de celulose.

Em linhas gerais, pode-se concluir que tanto a Acacia mearnsii como o Eucalyptus saligna deverão produzir polpas celulósicas com boas características de resistência. Numa previsão geral das propriedades físico-mecânicas das polpas dessas espécies, pode-se dizer que, provavelmente, as oriundas de eucalipto deverão ser mais resistentes, pois apresentaram maior comprimento de fibra, maior índice de enfeltramento e maior coeficiente de flexibilidade. Essas qualidades forneceriam resistências superiores à tração e ao arrebentamento e maiores valores de alongamento.

4.2. Composição Química e Densidade

Os resultados das análises químicas das madeiras estão no Quadro 4.

O estudo da constituição química da madeira fornece informações para melhor compreensão das reações químicas que ocorrem durante a polpação e branqueamento, além de fornecer indicações para melhor controle da deslignificação, refinamento e branqueamento.

A madeira de A. mearnsii apresentou maiores teores de holocelulose e pentosanas e menor teor de lignina, quando comparada à madeira de E. saligna, o que indica que os cavaços de A. mearnsii devem ser deslignificados mais facilmente, resultando em rendimentos levemente superiores em polpa celulósica. Esses valores indicam que a Acacia mearnsii apresenta elevado potencial como matéria-prima na obtenção de pastas de alto rendimento.

A maior solubilidade da A. mearnsii em água fria e quente poderia ser uma indicação de teor mais elevado de tanino nessa madeira. A maior solubilidade em NaOH a 1%, juntamente com a maior solubilidade em água quente e fria, constitui uma desvantagem de A. mearnsii, uma vez que esse material será solubilizado, em sua maior parte, durante o cozimento kraft, o que influirá desfavoravelmente no rendimento final.

As duas espécies apresentaram teores relativamente baixos de cinzas, o que, provavelmente, não deverá causar problemas no processo de recuperação do licor negro.

4.3. Densidade Básica e Densidade a Granel dos Cavaços

Os resultados da densidade, básica e a granel, estão no Quadro 4.

QUADRO 4 - Composição Química e Densidade Básica e a Granel, das
Madeiras do *Acacia mearnsii* de *Eucalyptus saligna*.

Propriedades	<u><i>A. mearnsii</i></u>	<u><i>E. saligna</i></u>
Solubilidade em:		
- água fria, %	1,39	0,60
- água quente, %	2,03	1,51
- NaOH 1 %, %	14,8	10,4
- álcool-benzeno, %	1,81	0,95
- diclorometano, %	0,43	0,32
Teor de:		
- holocelulose, %	80,16	74,00
- pentosanas, %	21,33	14,21
- lignina, %	19,75	25,69
- cinzas, %	0,123	0,323
Densidade:		
- básica (g/cm^3)	0,619	0,491
- granel (g/cm^3)	0,220	0,183

A A. mearnsii, que apresentou valores superiores de densidade, básica e a granel, deverá resultar em maiores rendimentos de produção por volume do digestor, ou seja, será possível colocar maior peso de cavacos de A. mearnsii por unidade de volume do digestor.

4.4. Polpação da Acacia mearnsii

No Quadro 5 estão os valores médios, com os respectivos desvios-padrão, encontrados nos estudos de otimização da polpação da A. mearnsii.

No Quadro 6 estão as equações de regressão obtidas para as propriedades estudadas, considerando as duas variáveis do fatorial (carga de álcali ativo e temperatura máxima de cozimento).

4.4.1. Rendimento bruto em polpa celulósica

No Figura 1, observa-se que, no intervalo de temperatura e álcali ativo estudado, a queda do rendimento bruto é linear, quando se mantém o álcali ativo constante e se aumenta a temperatura. Esses resultados estão de acordo com os obtidos por MARQUES (17). Quando o álcali ativo é aumentado, mantendo-se a temperatura constante, o rendimento bruto sofre maior decréscimo, no intervalo de 14% a 15,5% de álcali, tendendo, acima desse intervalo, para queda menos acentuada. Isso é explicável, uma vez que, na condição mais suave de álcali ativo (14%), a concentração dos íons ativos da polpação (HO^- , S^{2-} , HS^-) é menor, resultando em menor eficiência de penetração e difusão desses íons na madeira e, consequentemente, em menor eficiência das reações químicas. O aumento do álcali ativo acima de determinado valor não resultará em aumento proporcional na ação química dos íons, tendo como consequência uma redução na queda do rendimento bruto. A comprovação dessa teoria pode

QUADRO 5 - Médias (\bar{x}) e Desvios-Padrão (s) das Propriedades da Polpa obtida dos Cozimentos de Cavacos de *Acacia mearnsii*.

Alcalinativo (% Na ₂ O)	14,0	15,5	17,0	160	165	170	160	165	170	17,0
Temperatura máxima (°C)										
Rendimento bruto (%)	\bar{x} 57,64 s 0,82	\bar{x} 55,99 s 0,53	\bar{x} 54,17 s 0,23	\bar{x} 55,57 s 0,24	\bar{x} 53,81 s 0,62	\bar{x} 52,47 s 0,13	\bar{x} 53,56 s 0,13	\bar{x} 52,45 s 0,52	\bar{x} 51,33 s 0,30	
Rejeitos (%)	\bar{x} 6,82 s 0,12	\bar{x} 3,44 s 0,14	\bar{x} 2,22 s 0,25	\bar{x} 2,87 s 0,24	\bar{x} 1,45 s 0,43	\bar{x} 0,82 s 0,14	\bar{x} 1,81 s 0,18	\bar{x} 1,65 s 0,52	\bar{x} 0,54 s 0,11	
Rendimento depurado (%)	\bar{x} 55,81 s 0,94	\bar{x} 52,54 s 0,43	\bar{x} 51,25 s 0,23	\bar{x} 52,71 s 0,60	\bar{x} 52,32 s 0,38	\bar{x} 51,63 s 0,17	\bar{x} 51,75 s 0,75	\bar{x} 51,52 s 0,53	\bar{x} 52,32 s 0,41	
Número kappa	\bar{x} 38,3 s 5,80	\bar{x} 38,2 s 0,25	\bar{x} 31,43 s 1,43	\bar{x} 32,60 s 0,60	\bar{x} 22,74 s 0,64	\bar{x} 18,4 s 0,38	\bar{x} 25,31 s 0,81	\bar{x} 18,70 s 0,50	\bar{x} 18,50 s 0,30	
Viscosidade (cm ³ /g)	\bar{x} 1244 s 15,5	\bar{x} 1222 s 4,5	\bar{x} 1250 s 2,6	\bar{x} 1262 s 8,7	\bar{x} 1238 s 6,5	\bar{x} 1179 s 18,0	\bar{x} 1250 s 19,3	\bar{x} 1170 s 13,5	\bar{x} 1077 s 15,5	
Solução g/g em soda a	\bar{x} 16,0 s 0,20	\bar{x} 15,7 s 0,10	\bar{x} 15,6 s 0,10	\bar{x} 15,5 s 0,06	\bar{x} 15,1 s 0,15	\bar{x} 15,0 s 0,06	\bar{x} 14,5 s 0,15	\bar{x} 14,5 s 0,15	\bar{x} 14,7 s 0,15	
Alvura (% ISO)	\bar{x} 32,2 s 0,29	\bar{x} 34,5 s 0,42	\bar{x} 35,1 s 0,51	\bar{x} 35,1 s 0,17	\bar{x} 37,3 s 0,35	\bar{x} 37,6 s 0,56	\bar{x} 37,6 s 0,10	\bar{x} 36,9 s 0,52	\bar{x} 39,2 s 0,33	
Sólidos dissolvidos (%)	\bar{x} 14,9 s 0,45	\bar{x} 15,1 s 0,15	\bar{x} 15,4 s 0,47	\bar{x} 14,5 s 0,23	\bar{x} 15,5 s 0,17	\bar{x} 15,4 s 0,15	\bar{x} 15,6 s 0,35	\bar{x} 15,4 s 0,25	\bar{x} 16,9 s 0,25	
Sólidos orgânicos (%)	\bar{x} 58,40 s 0,38	\bar{x} 59,43 s 0,98	\bar{x} 60,63 s 1,27	\bar{x} 58,63 s 0,71	\bar{x} 59,83 s 0,38	\bar{x} 51,00 s 0,79	\bar{x} 56,77 s 0,37	\bar{x} 60,00 s 0,51	\bar{x} 61,37 s 0,81	
Álcali ativo residual (g/l)	\bar{x} 13,51 s 0,28	\bar{x} 12,73 s 0,13	\bar{x} 12,11 s 0,45	\bar{x} 16,70 s 0,24	\bar{x} 15,51 s 0,16	\bar{x} 15,10 s 0,31	\bar{x} 20,10 s 0,23	\bar{x} 12,47 s 0,37	\bar{x} 15,53 s 0,23	
LICOR NEGRO	\bar{x} 8,83 s 2,38	\bar{x} 7,88 s 6,15	\bar{x} 7,12 s 6,02	\bar{x} 11,39 s 0,20	\bar{x} 9,90 s 0,18	\bar{x} 9,95 s 0,23	\bar{x} 14,28 s 0,24	\bar{x} 13,93 s 0,24	\bar{x} 12,13 s 0,38	
Sulfato de sódio residual (g/l)	\bar{x} 4,68 s 0,10	\bar{x} 4,85 s 0,15	\bar{x} 4,92 s 0,35	\bar{x} 5,49 s 0,08	\bar{x} 5,71 s 0,24	\bar{x} 6,04 s 0,17	\bar{x} 5,77 s 0,13	\bar{x} 6,73 s 0,13	\bar{x} 5,49 s 0,11	

QUADRO 6 – Equações de Regressão das Propriedades da Celulose e do Licor Negro, conforme o Álcali Ativo e a Temperatura Máxima de Cozimento dos Cavacos de Acacia mearnsii.

Propriedades	Equações	Coeficiente Determinação	Desvio-padrão
Rendimento bruto (%)	RB = 218,177+0,614.10 ⁻¹ (AA.T) - 1,226T-0,628AA ² +0,549,10 ⁻³ AA ⁴	0,9362	0,509
Rendimento depurado (%)	RD = 73,128-0,497.10 ⁻² (AA.T) - 128,136 AA ⁻¹	0,486	0,512
Rejeitos (%)	RJ = -130,372+0,447.10 ⁻¹ (AA.T)+0,559.10 ⁻³ AA ⁴ -0,53AA ² -0,890 T	0,9814	0,199
Número kappa	K = -1490,091+202591,7.T ⁻¹ -3,159AA+0,745.10 ⁻⁴ T ³	0,9606	1,504
Viscosidade (cm ³ /g)	VS = -10859,95-4,956(AA.T)+923,018AA+67,5 T -0,184AA ³	0,9078	20,21
Solubilidade em soda a 5% (%)	SC = 23,229-0,319.10 ⁻² (AA.T)	0,9367	0,183
Alvura (% ISO)	AL = 6,262+0,129.10 ⁻¹ (AA.T)-0,470.10 ⁻⁴ AA ⁴	0,9306	0,559
Sólidos dissolvidos (%)	ST = -9,209+0,296.10 ⁻² (AA.T)+0,104T	0,9039	0,296
Sólidos orgânicos (%)	SO = 44,64=0,272.10 ⁻⁵ T ³ +0,113.10 ⁻² (AA.T)	0,7346	0,641
Álcali ativo residual (g/l)	AAR = 29,723+0,3.10 ⁻² AA ³ -0,152 T	0,9926	0,251
Hidróxido de sódio residual (g/l)	OH = 37,057+0,116.10 ⁻³ AA ⁴ -0,204T	0,9893	0,253
Sulfeto de sódio residual (g/l)	HS = -10,139+0,937.10 ⁻² (AA.T)-0,741 AA ⁴ -0,515.10 ⁻⁸ T ⁴	0,9315	0,172

AA = Carga de álcali ativo, como Na₂O, % base madeira

T = Temperatura máxima do cozimento, (°C)

ser verificada pelo consumo de álcali ativo na reação, visto que, à medida que aumenta a concentração de álcali, ocorre, a partir de determinado ponto, aumento do álcali ativo residual.

A equação obtida dos dados experimentais (Quadro 6) permite afirmar que o efeito mais importante sobre o rendimento bruto é o da interação de álcali ativo e temperatura. Isso indica que o efeito do álcali ativo é alterado quando se modifica a temperatura, e vice-versa.

Comparando a ação individual das variáveis de cozimento em estudo, observou-se que, dentro dos níveis estudados, o álcali ativo apresentou influência mais pronunciada no rendimento bruto que a temperatura.

4.4.2. Rendimento depurado

Atualmente, com a crise econômica e com a concorrênca no mercado de vendas de polpa celulósica, as indústrias procuram o aumento de rendimento no processo de fabricação, objetivando a minimização dos custos de produção. O rendimento depurado é, portanto, de grande importânca no estudo da viabilidade de uma matéria-prima para a produção de polpa celulósica.

Nos Quadros 5 e 6 encontram-se as médias obtidas para o rendimento depurado, nos diversos tratamentos, e a equação de regressão dos parâmetros estudados. Foi observado efeito significativo do álcali ativo e da interação de álcali ativo e temperatura, porém o efeito do álcali ativo dependeu da temperatura.

Na Figura 2, pode ser observado que a estimativa do rendimento depurado apresentou o maior valor (52,83%) para a temperatura de 160°C e 14% de álcali ativo e o menor valor (51,22%) para a temperatura de 170°C e 1% álcali ativo. Essas condições foram a mais suave e a mais agressiva das combinações

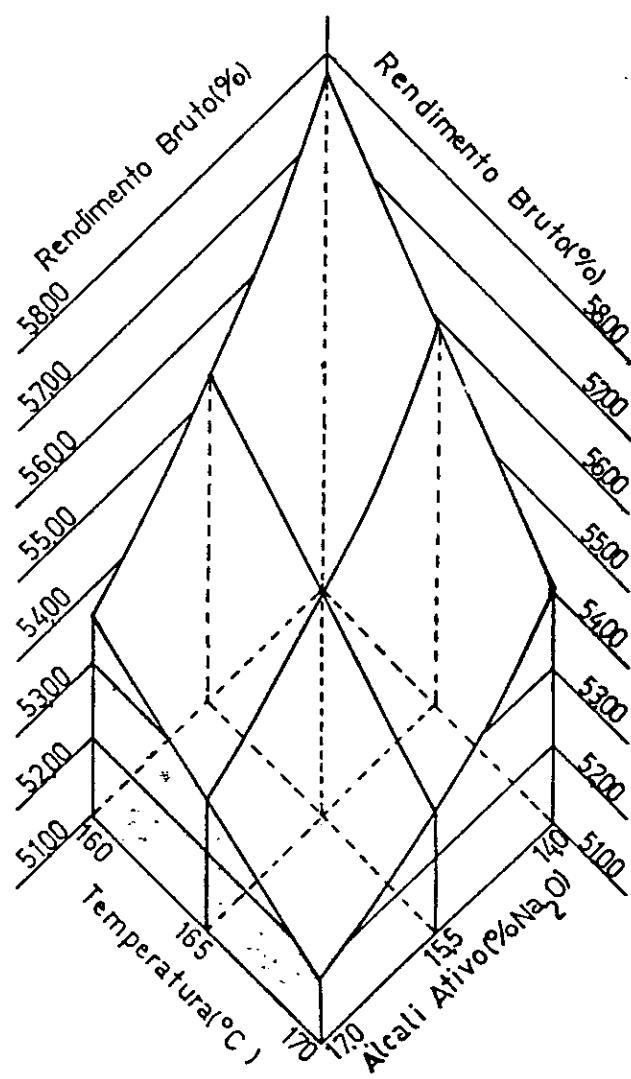


FIGURA I - Efeito estimado da temperatura de cozimento e do alcali ativo no rendimento bruto da polpa celulósica.

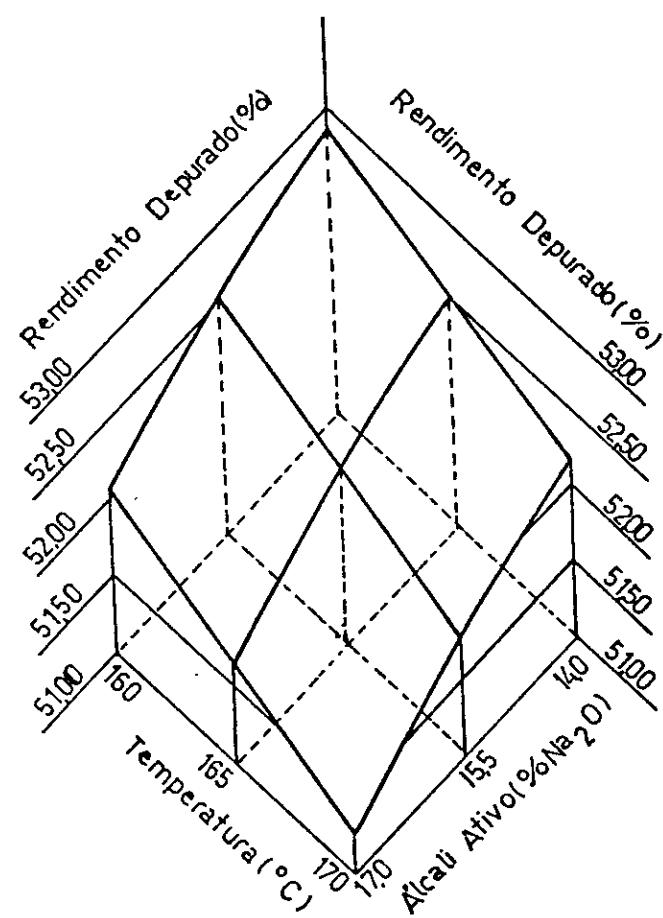


FIGURA 2 - Efeito estimado da temperatura de cozimento e do álcali ativo no rendimento depurado da polpa celulósica.

utilizadas na polpação da Acacia mearnsii. Assim, a diferença entre os rendimentos depurados desses cozimentos foi relativamente pequena (1,61%). O baixo valor do coeficiente de determinação ($R^2 = 0,486$) indica que apenas 48,6% das variações do rendimento depurado são explicados pela equação.

4.4.3. Rejeitos

No processo de polpação, procura-se minimizar o teor de rejeitos, por causa do seu efeito negativo no rendimento depurado, da necessidade de equipamentos para separá-los e da sua influência negativa nas propriedades de resistência da polpa, quando reciclado, pois ocorrem problemas no cozimento ocasionados pela heterogeneidade do material.

Nos Quadros 5 e 6 estão as médias dos valores encontrados para os rejeitos, em percentagem, e a respectiva equação de regressão.

A análise da regressão demonstrou efeito significativo do álcali ativo, da temperatura e da interação desses parâmetros.

Na Figura 3, observa-se que, nos intervalos estudados, os aumentos de álcali ativo e/ou da temperatura provocaram diminuição no teor de rejeitos. Dentre os tratamentos estudados, o menor valor estimado para o teor de rejeitos (0,54%) foi obtido nas condições de 1% de álcali e 170°C.

4.4.4. Número kappa

Nos Quadros 5 e 6 encontram-se as médias dos resultados do número kappa obtidos nos diferentes tratamentos realizados com cavacos de Acacia mearnsii e a respectiva equação de regressão.

A análise de regressão indicou efeito significativo do álcali ativo e da temperatura.

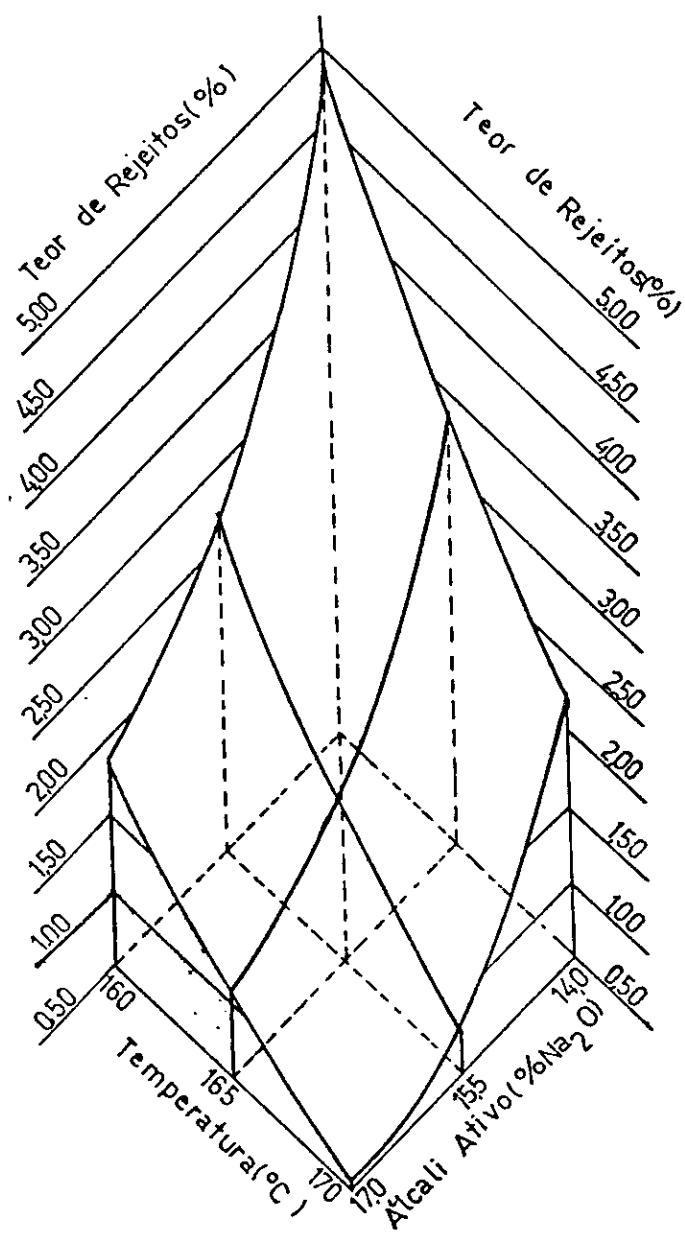


FIGURA 3 - Efeito estimado da temperatura de cozimento e do álcali ativo no teor de rejeitos da polpa celulósica.

Na Figura 4, observa-se que, mantendo-se constante a temperatura máxima de cozimento, o incremento da carga alcalina 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. Isso resulta do fato de que o aumento de 8°C na temperatura de cozimento causa, aproximadamente, a duplicação da velocidade de reação de deslignificação, acelerando a remoção da lignina (3). O aumento da deslignificação com o aumento da temperatura não é constante, visto que, à medida que se processa a deslignificação, ocorrem modificações na lignina original. A transformação mais comum é o aumento das ligações carbono-carbono, que necessitam de maior energia de ativação para rompimento e, consequentemente, dissolução no licor de cozimento.

Dentre os tratamentos estudados, a estimativa do número kappa indicou o menor valor (10,7) para álcali ativo de 17% e temperatura de 170°C , o que é explicável, por terem sido esses níveis os mais agressivos dos utilizados na remoção da lignina existente nos cavacos de *Acacia mearnsii*.

Como a variação do número kappa responde melhor às variações da temperatura máxima de cozimento, essa variável deve ser considerada quando forem necessários ajustes para corrigir o número kappa da polpa.

4.4.5. Viscosidade

As médias das viscosidades das polpas obtidas nos diferentes tratamentos, bem como sua equação de regressão, encontram-se nos Quadros 5 e 6.

Na Figura 5, observa-se que, à medida que aumentam a temperatura de cozimento e o álcali ativo, a viscosidade decresce, indicando maior degradação dos carboidratos. Essa queda é mais pronunciada quando se incrementa a carga alcalina.

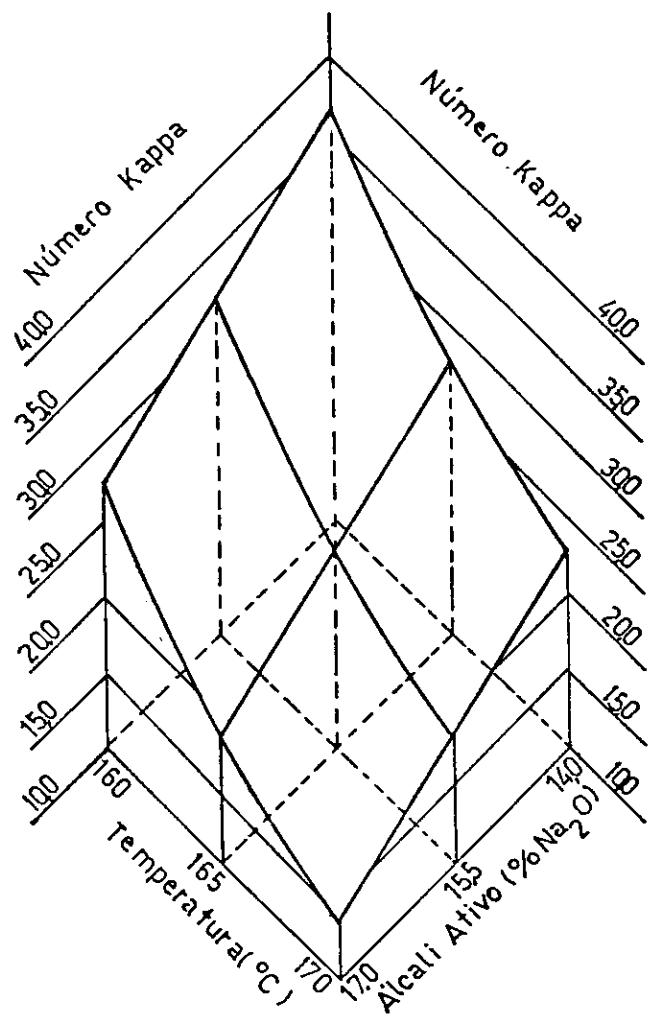


FIGURA 4 - Efeito estimado da temperatura de cozimento e do álcali ativo no número kappa da polpa celulósica.

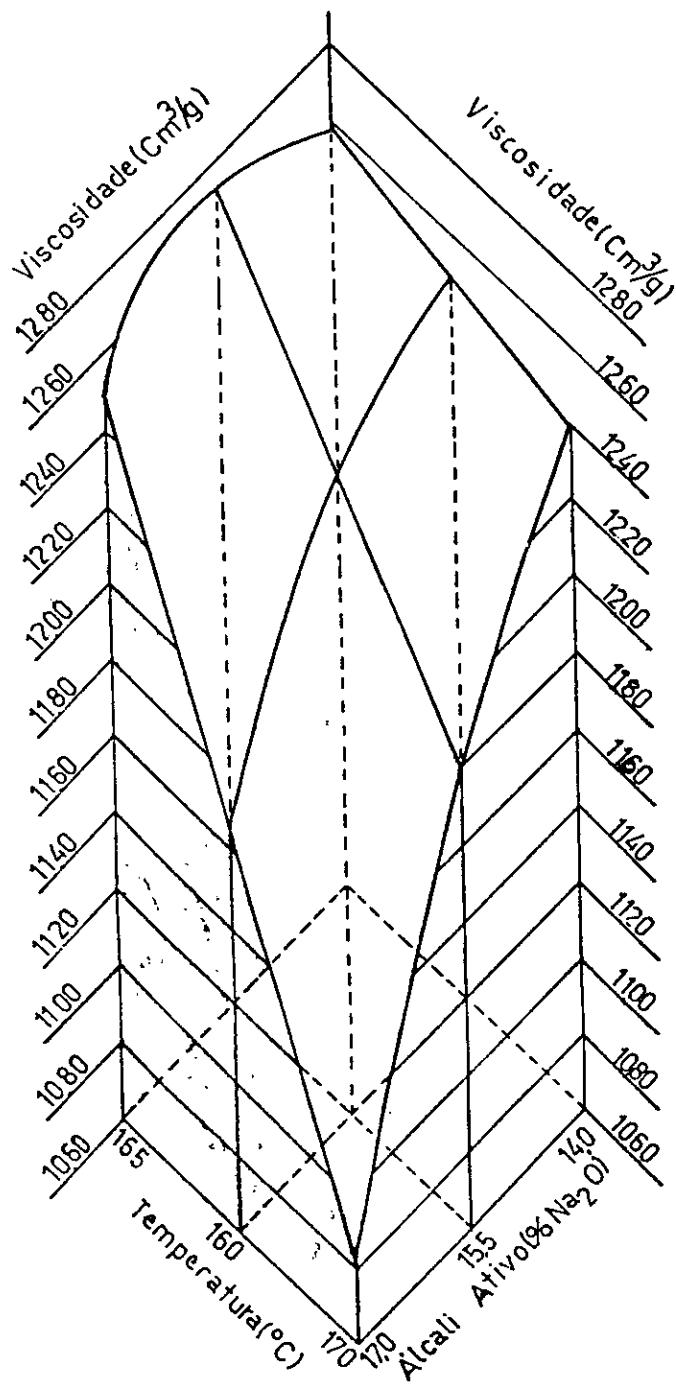


FIGURA 5 - Efeito estimado da temperatura de cozimento e do álcali ativo na viscosidade da polpa celulósica.

4.4.6. Solubilidade em soda a 5% (S-5)

Nos Quadros 5 e 6 estão as médias dos resultados obtidos nas análises de solubilidade das polpas em solução de hidróxido de sódio a 5%, bem como a equação fornecida pela análise de regressão aplicada aos dados experimentais.

A análise de regressão demonstrou efeito significativo da interação de álcali ativo e temperatura.

Na Figura 5, observa-se que, à medida que aumentam o álcali ativo e/ou a temperatura, a solubilidade em soda a 5% decresce linearmente. Dentro da faixa estudada, o efeito do álcali ativo foi mais pronunciado que o da temperatura. Dentre os tratamentos estudados, a estimativa de S-5 apresentou o maior valor (16,08%) no tratamento com 14% de álcali ativo e 160°C.

4.4.7. Alvura

A alvura é um dos parâmetros que pode restringir a utilização de uma polpa na obtenção de determinado produto, visto que a aparência é fator importante para a comercialização. Quando se deseja branquear uma polpa, a alvura inicial serve como referência para a seleção da seqüência de branqueamento que deverá ser utilizada.

Nos Quadros 5 e 6 estão as médias das alvuras das polpas de Acacia mearnsii oriundas das diversas combinações de álcali ativo e temperatura máxima de cozimento, bem como a equação de regressão obtida desses dados experimentais.

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. O tratamento com que se obteve maior valor de alvura foi o de 17% de álcali ativo e 170°C de temperatura, o que pode ser explicado pelo menor número kappa das polpas desse tratamento.

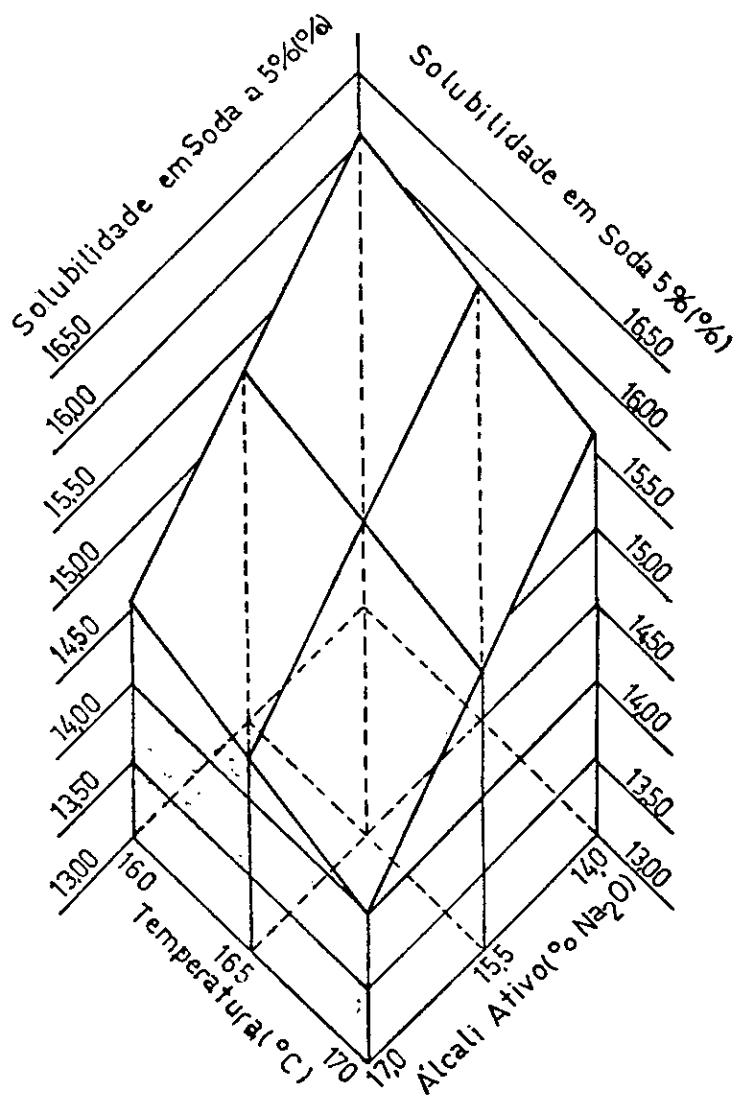


FIGURA 6 - Efeito estimado da temperatura de cozimento e do álcali ativo na solubilidade em NaOH a 5% da polpa celulósica.

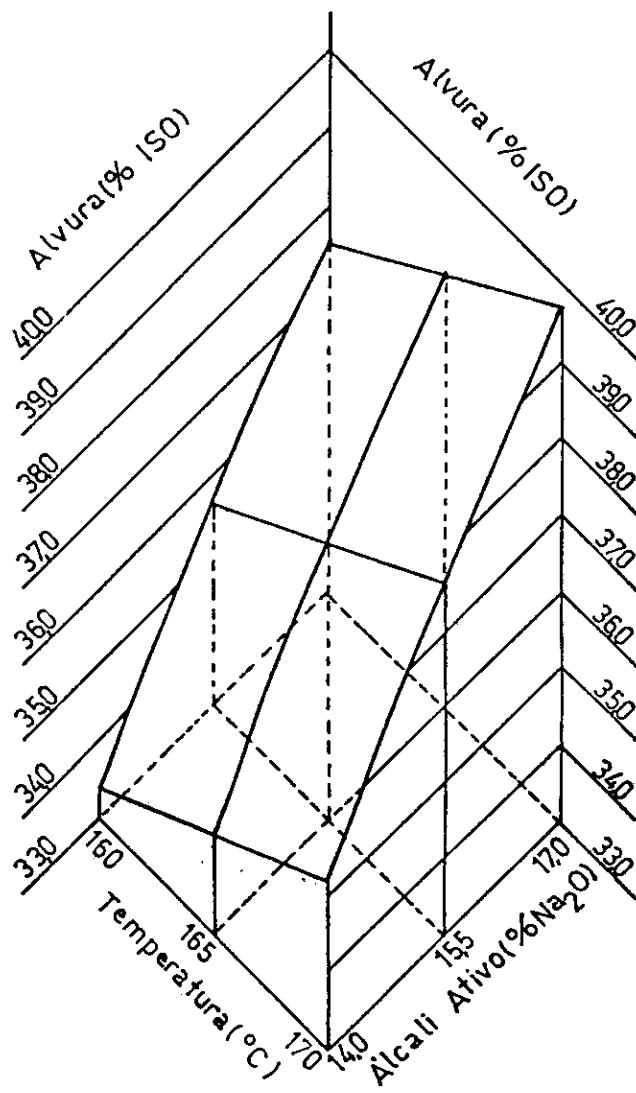


FIGURA 7 - Efeito estimado da temperatura de cozimento e do álcali ativo na alvura da polpa celulósica.

A variação da carga alcalina ativa resulta em resposta mais rápida na altura da polpa que a variação da temperatura de cozimento, nos níveis estudados.

4.4.8. Sólidos dissolvidos no licor residual

Graças ao avanço científico e tecnológico alcançado nos últimos anos pelas indústrias de celulose e aos fatores ecológicos e econômicos, a recuperação dos sólidos dissolvidos no licor residual tornou-se indispensável, tanto nas fábricas médias como nas de grande porte. Em decorrência disso, no estudo da viabilidade de determinada condição de cozimento, é necessária uma quantidade mínima de matéria orgânica nesse licor para que possa ser aproveitado, após concentração, na queima nas caldeiras de recuperação.

As médias dos resultados dos teores de sólidos determinados nos licores residuais dos tratamentos realizados, bem como a equação de regressão obtida dos dados experimentais, encontram-se nos Quadros 5 e 6, respectivamente.

Na Figura 8, verifica-se que, à medida que aumentam a temperatura ou o álcali ativo, os teores de sólidos dissolvidos no licor negro aumentam linearmente. O tratamento com 14% de álcali ativo e 160°C foi o que resultou no menor teor de sólidos (14,08%) no licor residual.

4.4.9. Sólidos orgânicos dissolvidos no licor residual

Nos Quadros 5 e 6 estão as médias dos valores encontrados para a matéria orgânica no licor residual, base sólidos totais, e a respectiva equação de regressão.

A análise de regressão demonstrou efeito significativo do álcali ativo e da interação de álcali ativo e temperatura.

O maior valor estimado para a matéria orgânica no licor residual (61,28%) foi obtido no tratamento com álcali aci-

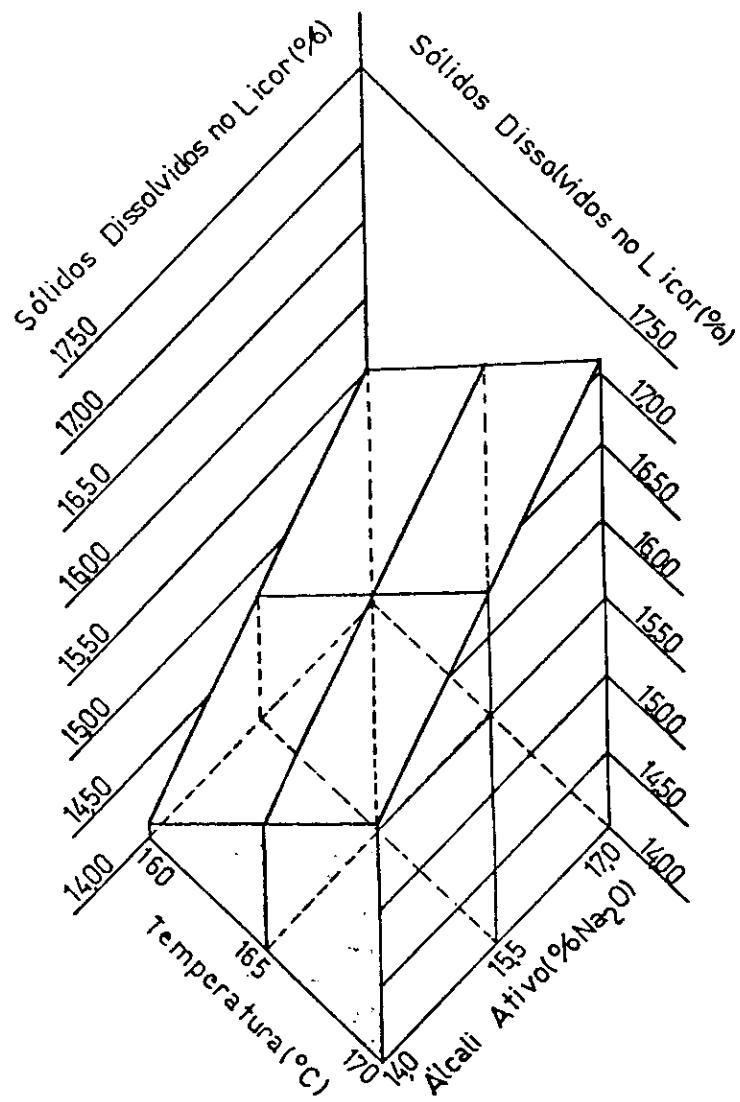


FIGURA 8 - Efeito estimado da temperatura de cozimento e do álcali ativo nos sólidos dissolvidos do licor residual.

vo de 17% e temperatura de 170°C. Na Figura 9, pode ser observado que a alteração na temperatura apresentou maior influência no teor de sólidos orgânicos que a alteração no álcali ativo, nos níveis estudados. Isso pode ser explicado pelo aumento do álcali ativo no licor de cozimento, que resulta em maior quantidade de materiais inorgânicos no licor residual, reduzindo, consequentemente, a percentagem relativa dos sólidos orgânicos.

Na Figura 9, pode ainda ser observado que, à medida que se eleva a carga alcalina, a matéria orgânica do licor residual linearmente.

4.4.10. Álcali ativo residual no licor negro

A análise do álcali ativo residual fornece indicações sobre as modificações ou alterações nos parâmetros do cozimento, como, por exemplo, temperatura e álcali ativo, que devem ser realizadas para a otimização do processo.

As médias dos valores obtidos para a carga alcalina residual no licor negro, expressa em gramas de Na₂O por litro, e a respectiva equação de regressão estão nos Quadros 5 e 6.

Na Figura 10, observa-se que, dentro os tratamentos aplicados, o menor valor estimado para o álcali ativo residual (12,05 g/l) foi o obtido com álcali ativo inicial de 14% e temperatura de 170°C. Observa-se, ainda, que, para um mesmo nível de álcali ativo inicial, a elevação da temperatura de cozimento resulta em menor concentração do álcali ativo residual, indicando maior consumo de álcali nas reações de deslignificação e degradação dos carboidratos.

A carga alcalina aplicada no cozimento apresentou, dentro dos limites estudados, influência muito maior que a da temperatura na concentração residual do álcali ativo no licor negro.

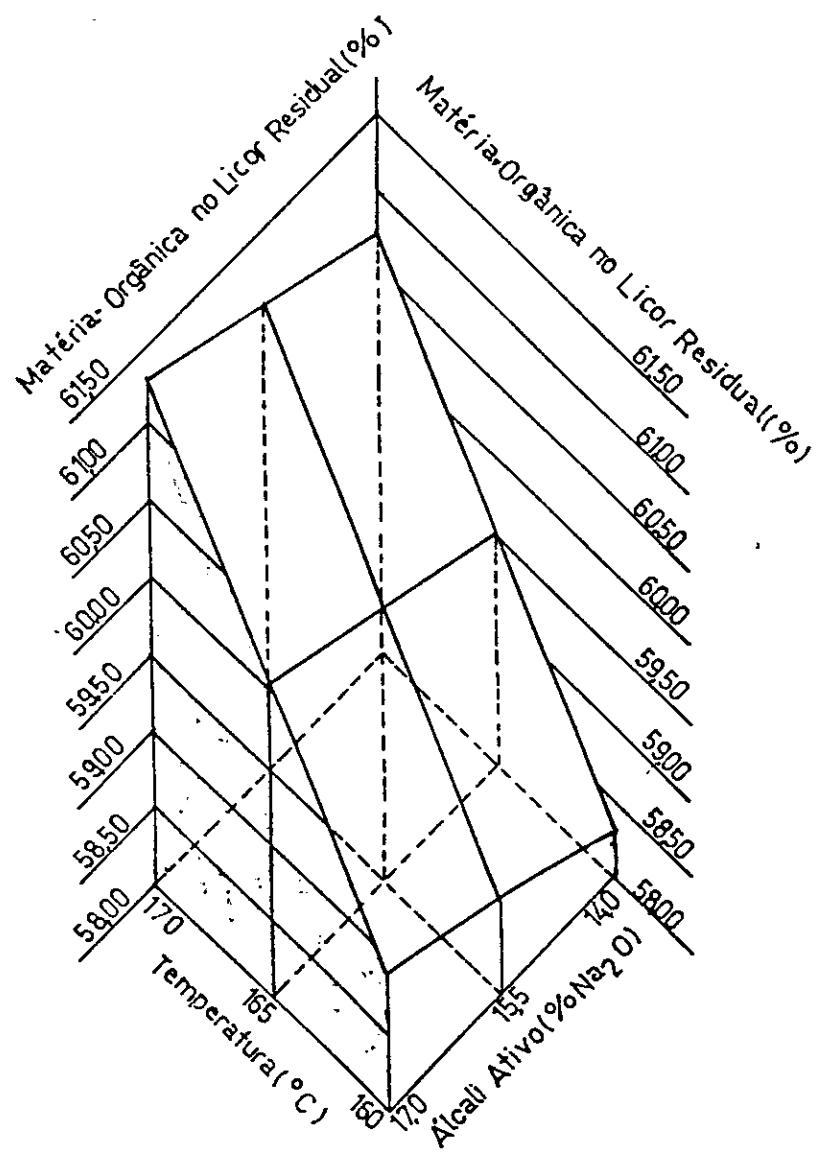


FIGURA 9 - Efeito estimado da temperatura de cozimento e do ácali ativo na matéria orgânica do licor residual.

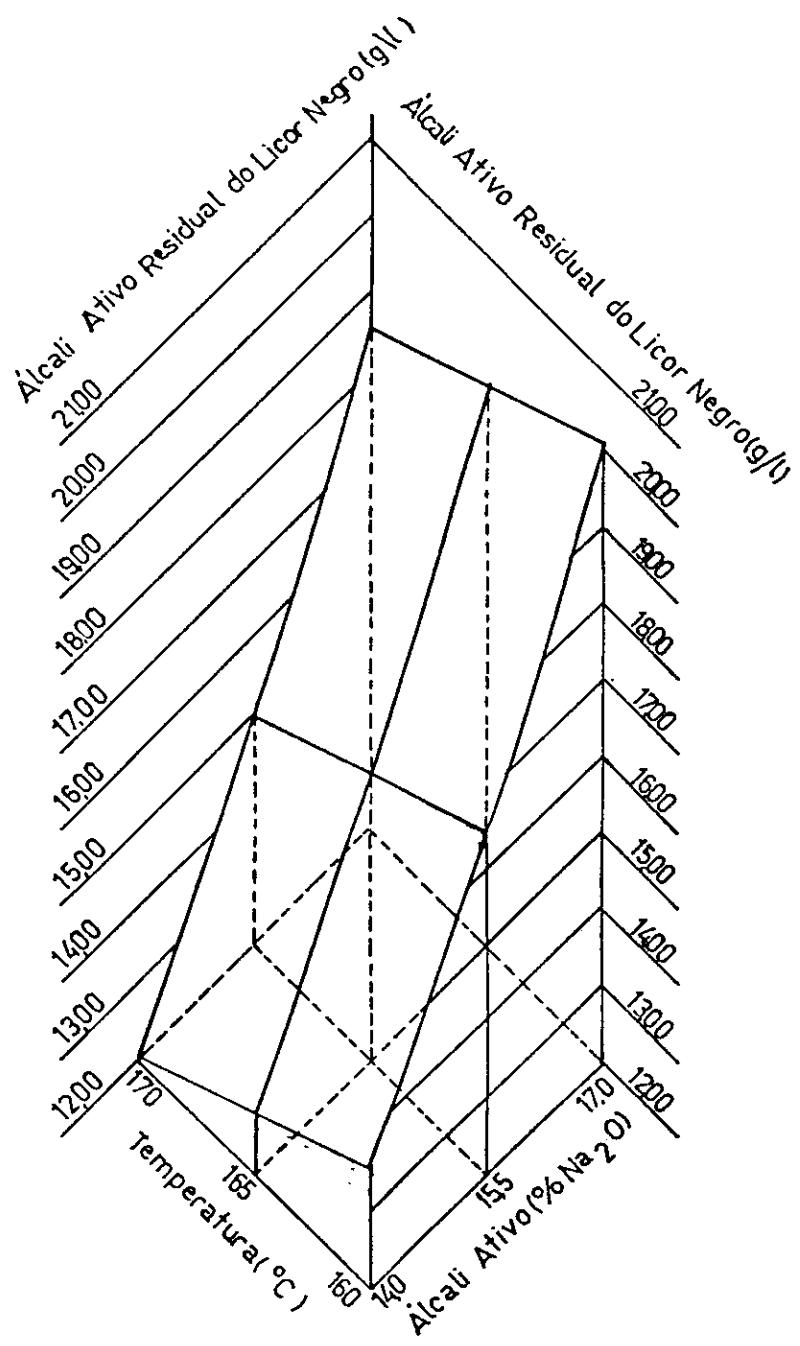


FIGURA 10 - Efeito estimado da temperatura de cozimento e do álcali ativo no álcali ativo residual do licor negro.

4.4.11. Hidróxido de sódio residual no licor negro

Nos Quadros 5 e 6 estão as médias dos valores experimentais de hidróxido de sódio residual, em gramas de Na_2O por litro, encontrados nos licores negros oriundos dos diferentes tratamentos aplicados aos cavacos de Acacia mearnsii, bem como a respectiva equação de regressão.

Os resultados obtidos demonstraram que, mantendo-se constante a carga alcalina, a concentração de hidróxido de sódio residual no licor negro decresce linearmente, conforme o aumento de temperatura (Figura 11). O menor valor estimado para o hidróxido de sódio residual (8,93 g/l) foi determinado no tratamento com 14% de álcali ativo e 170°C e o menor (14,14 g/l) no tratamento com 17% de álcali ativo e 160°C. A carga alcalina aplicada no cozimento exerce, no intervalo estudado, influência muito maior que a da temperatura na concentração residual do hidróxido de sódio no licor negro.

4.4.12. Sulfeto de sódio residual no licor negro

As médias dos valores obtidos para o sulfeto de sódio residual, expresso em gramas de Na_2O por litro, e a respetiva equação de regressão estão nos Quadros 5 e 6.

Na Figura 12, verifica-se que, à medida que aumenta a temperatura, a concentração de sulfeto de sódio residual sofre um acréscimo, evidenciando, provavelmente, que esse incremento de temperatura favorece a reação de eliminação na hidrólise das ligações éter beta-arila (aumento da mobilidade dos íons OH^-), enquanto a reação de substituição nucleófila apresenta pequena redução. Essa observação é confirmada por CASTILLO (3), que afirma que o consumo de sulfeto ocorre no início do ciclo de cozimento, e apenas a parte do sulfeto (aproximadamente um terço da carga inicial) inserida no interior dos cavacos após o período inicial de impregnação está disponível para to-

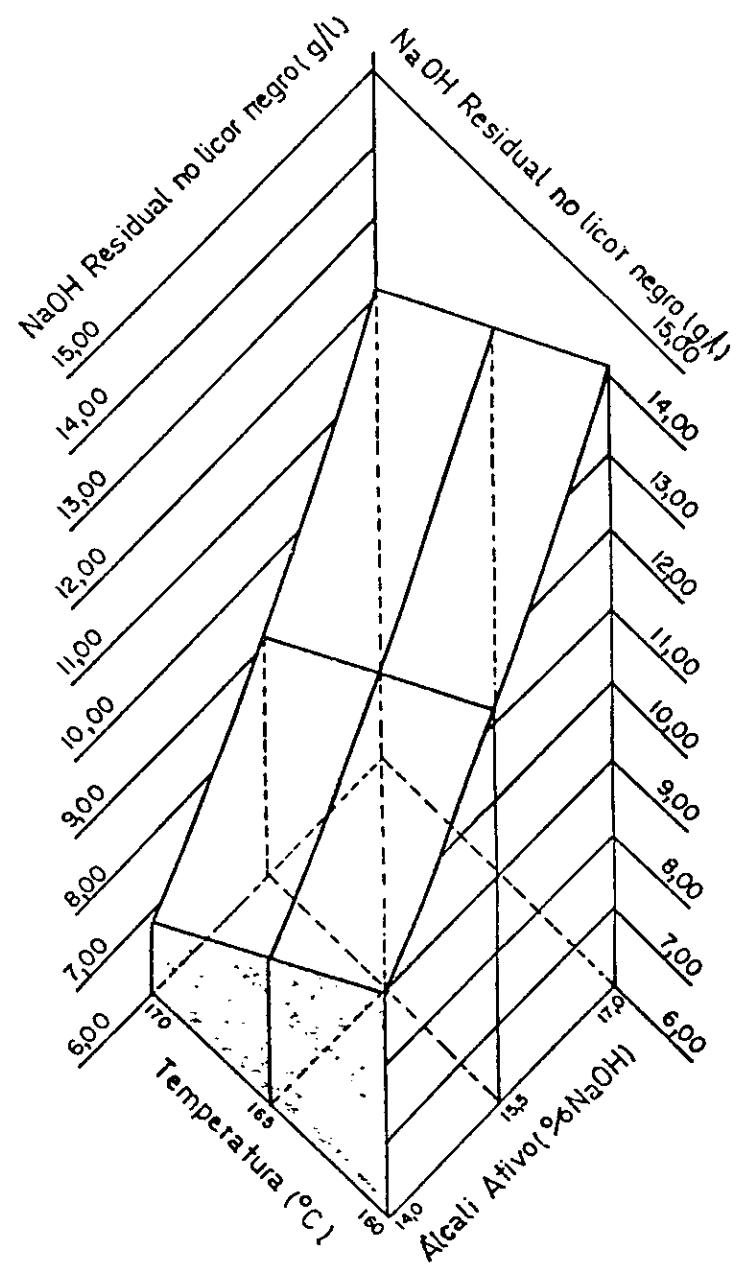


FIGURA II - Efeito estimado da temperatura de cozimento e do álcali ativo no hidróxido de sódio residual do licor negro.

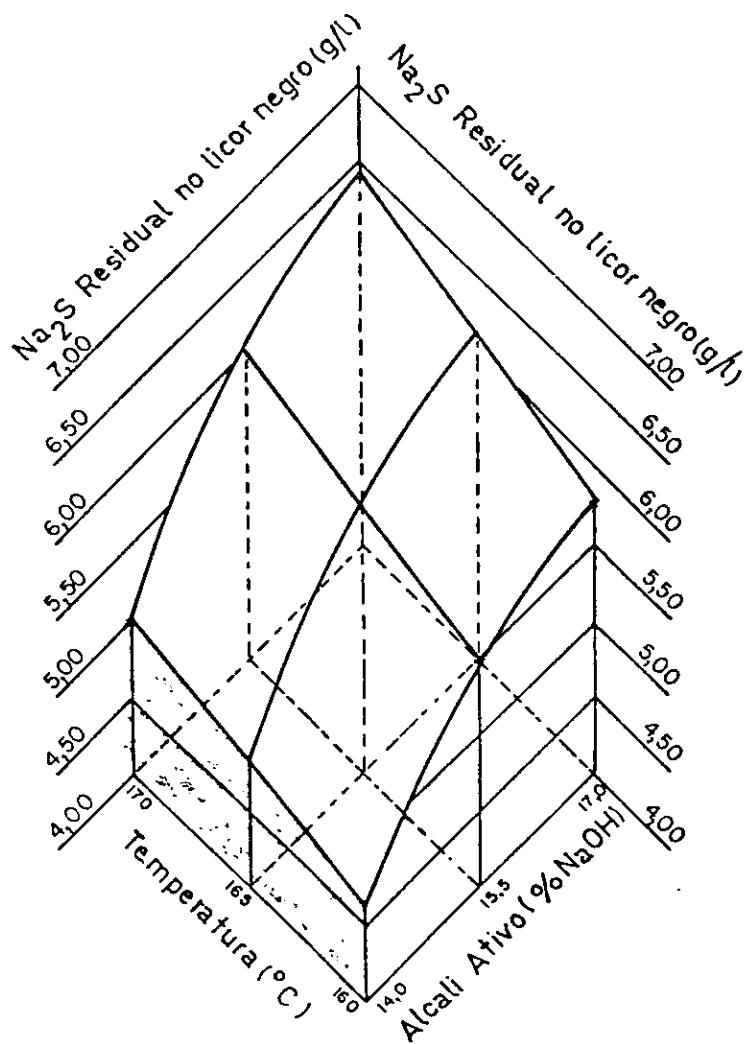


FIGURA 12 - Efeito estimado da temperatura de cozimento e do álcali ativo no sulfeto de sódio residual do licor negro.

mar parte nas reações de formação de tioligninas. Nenhum aumento significativo ocorre durante o equilíbrio do cozimento, em contraste com o hidróxido de sódio, que continua a ser consumido durante o cozimento.

A função estimada para o sulfeto de sódio residual apresentou maior valor (6,46g/l) no tratamento com 17% de álcali ativo e temperatura de 170°C.

4.5. Comparação entre as polpas celulósicas de *Acacia mearnsii* e *Eucalyptus saligna*.

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

4.5.1. Características gerais das polpas e dos licores residuais

No Quadro 1 estão os módios dos resultados dos cozimentos das duas espécies, os quais foram analisados estatisticamente por meio de análise de variância (Quadros 8 e 9).

Os efeitos do álcali ativo e da temperatura (condições) no rendimento bruto e no teor de rejeitos das espécies foram significativos, pelo teste "F", ao nível de 5% de probabilidade. Os resultados do Quadro 8 indicam que as condições tiveram efeito mais pronunciado no rendimento bruto e no teor de rejeitos que as espécies de madeira e que a *Acacia mearnsii* apresentou valores de rendimento bruto ligeiramente superiores aos obtidos pelo *Eucalyptus saligna*.

Quanto ao rendimento depurado, o efeito das espécies foi mais acentuado que o das condições utilizadas nos cozimentos. Nessa propriedade, a *Acacia mearnsii* apresenta valores superiores aos obtidos pelo *Eucalyptus saligna*, nas mesmas condições.

QUADRO 7 - Médias das Propriedades das Pastas Celulósicas e dos Licores Negros Obtidos de Cozimentos de Acacia mearnsii e Eucalyptus saligna.

ESPECIE	<u>Acacia mearnsii</u>	<u>Eucalyptus saligna</u>
Álcali ativo (% Na ₂ SO ₄)	14,0	15,5
Temperatura máxima (°C)	160	155
Rendimento bruto (%)	57,64	53,81
Rejeitos (%)	4,82	1,42
Rendimento depurado (%)	52,81	52,39
Número Kappa	38,3	25,7
Viscosidade (cm ³ /s)	1244	1238
Solubilidade em soda 5% (%)	16,0	15,1
Altura (% ISO)	33,2	37,3
Sólidos totais dissolvidos (%)	14,0	15,5
Sólidos orgânicos (%)	58,40	59,83
Álcali ativo residual (g/l)	13,51	15,61
Hidróxido de sódio residual (g/l)	8,83	9,90
LICOR NEGRO	4,68	5,71
Sulfeto de sódio residual (g/l)	4,36	5,12

QUADRO 8 - Resumo da Análise de Variância da Comparação entre as Propriedades das Polpas Celuló-sicas de Acacia mearnsii e Eucalyptus saligna.

Propriedades	Fonte de Variância	Condições (C)	Espécies (%)	Intensão C x E		P-índice
				C	E	
Rendimento bruto	GL	2				
	Q.M.	53,61	4,15**	0,11	0,54 n.s.	12
	F	191,45**	12,85**	0,54 n.s.	0,58	—
Rendimento depuração	GL	2,51	3,89	2	1,52	
	Q.M.	5,48**	20,48**	0,49	0,83 n.s.	9,48
	F	—	—	0,83	—	—
Rejeitos	GL	2,26	1,21	2	1,2	
	Q.M.	2,26,72	1,31**	0,47	0,13	0,13
	F	2,26,38**	—	3,55 n.s.	—	—
Número kappa	GL	1,00	1,47	2	1,2	
	Q.M.	3,52,7,6**	1,53,0,4**	2,53	0,77**	0,31
	F	—	—	6,53	—	—
Viscosidade	GL	0,3602,67	530,06,69	1,44	43,87	335,82
	Q.M.	1,52,0,6**	2,82,1,3**	2	1,2	—
	F	—	—	1,3**	—	—
Soluabilidade em NaOH (%)	GL	3,35	1,12,50	0,57	0,57	0,04
	Q.M.	6,31,75**	2,81,50**	1,5,75**	—	—
	F	—	—	2	1,2	—
Alumina	GL	7,4,50	4,8,67	1,09	1,09	0,10
	Q.M.	7,4,0,00**	4,85,76**	10,90**	—	—
	F	—	—	—	—	—

** Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

n.s. Não significativo no nível de probabilidade estabelecido.

A análise de variância demonstrou interações significativas dos efeitos das espécies e das condições nos testes de número kappa, solubilidade em soda a 5%, viscosidade e alvura. Para melhor avaliação dos efeitos isolados de cada condição sobre as espécies, foram realizados desdobramentos (Quadros 13 e 16). Como resultado final desses desdobramentos, observou-se, em todos os níveis, com exceção da condição de 17% de álcali ativo e 170°C, efeito significativo das três combinações de álcali ativo e temperatura sobre Acacia mearnsii e Eucalyptus saligna.

Com relação a número kappa e alvura, as condições utilizadas apresentaram efeito mais pronunciado que o das espécies, enquanto para viscosidade e solubilidade em soda a 5% o fator mais importante foi a espécie.

O número kappa das polpas de A. mearnsii foi menor que o das de E. saligna, possivelmente por causa do menor teor de lignina da madeira de A. mearnsii. A diferença entre as duas espécies diminui à medida que a combinação álcali ativo - temperatura é mais agressiva.

As alvuras mais baixas das polpas de A. mearnsii podem, possivelmente, ter sido causadas pelo teor mais elevado de extractivos nessa madeira.

As polpas de A. mearnsii apresentaram valores superiores de solubilidade em soda a 5%, provavelmente por causa do teor mais elevado de carboidratos, conforme demonstrado pelas análises de holocelulose e pentosânicos (Quadro 4). Apresentaram também valores superiores de viscosidade.

As análises de variância das propriedades do licor residual (sólidos totais dissolvidos, álcali ativo residual, hidróxido de sódio e sulfato de sódio residual) demonstraram que os efeitos das espécies e das condições foram significativos, pelo teste "F", ao nível de 5% de probabilidade, não tendo sido detectadas interações de espécies e condições (Quadro 9).

QUADRO 9 - Resumo das Análises de Variância da Comparação entre as Propriedades dos Licores Resíduais Obtidos de Cozimentos de Acacia mearnsii e Eucalyptus saligna.

Propriedades	Fontes de Variância		Condições (C)	Espécies (E)	Interação G X E	Resíduo
	GL	2				
Sólidos totais dissolvidos	GL	14,75	1	0,95	1	12
	GM	147,50**		9,60**	0,17	0,10
	F				1,70 n.s.	-
Álcali ativo residual	GL	2	1	32,15	2	12
	GM	35,59		293,35**	0,11	0,11
	F	353,55**			1,00 n.s.	-
Hidróxido de sódio residual	GL	2	1	44,81	2	12
	GM	16,64		263,52**	0,10	0,17
	F	97,82**			0,52 n.s.	-
Sulfeto de sódio residual	GL	2	1	52,50**	2	12
	GM	3,62		1,05	0,04	0,02
	F	164,59**		52,50**	2,00 n.s.	-

** Significativo ao nível de 5% de probabilidade.
n.s. Não significativo ao nível de probabilidade estabelecido.

Os álcalis ativos residuais dos licores dos cozimentos de A. mearnsii foram menores que os de E. saligna. Um dos fatores que pode ter influenciado essa característica foi o maior teor de xilena da madeira de A. mearnsii, que pode ter causado maior consumo de álcali nas reações de degradação e de acetilação.

4.5.2. Comparação entre as propriedades físico-mecânicas e óticas das polpas celulósicas

As polpas de A. mearnsii e E. saligna obtidas com 14% de álcali ativo e 160°C não apresentaram números kappa dentro dos limites normalmente utilizados nas indústrias (15 a 25). Em razão disso, foram excluídas dos testes físico-mecânicos.

Os resultados das médias dos dados experimentais das duas espécies, nas condições utilizadas, estão no Quadro 10.

Na análise de variância de cada propriedade, o grau Schopper-Riegler foi utilizado como covariável, analisando-se as possíveis variações, nas propriedades, decorrentes das espécies e das condições utilizadas.

Os resultados da análise de covariância estão nos Quadros 11 e 12.

4.5.2.1. Número de revoluções

A análise de covariância da variável número de revoluções indicou que tanto as espécies como as condições de cozimento exercearam efeitos significativos, pelo teste de "F", ao nível de 5% de probabilidade. Os resultados demonstraram que, para as condições estudadas e mesmo grau Schopper-Riegler, com exceção de 55°SR, o E. saligna requer mais energia para refinamento que a A. mearnsii. Verificou-se também que, à medida que aumentavam o álcali ativo e a temperatura, era necessário número mais elevado de revoluções para atingir 40 e 55°SE. Is-

QUADRO 10 - Valores Médios das Propriedades Físico-Mecânicas e Óticas das Polpas Celulósicas.

<u>E s p é c i e</u>	<u>Acacia mearnsii</u>						<u>Eucalyptus saligna</u>					
	15,5			17,0			15,5			17,0		
Condições	Álcali ativo (% Na ₂ O)	Temperatura (°C)	165	170	170	165	165	170	170	170	170	170
Grau Schoper-Riegler (°SR)	14,5	25	40	55	15,0	25	40	55	16,7	25	40	55
Número de revoluções	0	4183	8967	11300	0	4100	11283	14133	0	925	7267	11500
Resistência à tração (m)	819	9117	11210	1767	954	8247	10743	11230	2249	8007	12628	13550
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
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
Resistência ao rasgo	21,8	105,1	116,1	1112	19,4	97,0	106,5	99,2	44,1	104,5	137,5	129,1
Volume específico aparente (cm ³ /g)	2,83	1,68	1,50	1,452	0,86	1,67	1,49	1,46	2,59	1,87	1,51	1,44
Resistência à passagem de ar (s/100 cm ³)	0,20	1,6	16,4	54,7	0,23	1,60	11,5	39,1	0,44	2,60	19,2	72,8
Altura (%) 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
Opacidade - Re/Roo (%)	98,3	97,1	96,6	96,3	98,5	97,2	96,3	96,1	98,6	97,8	96,7	96,5
Coeficiente de dispersão de luz (m ² /kg)	43,7	29,0	25,6	24,8	45,9	30,6	26,3	25,7	49,6	37,9	28,3	26,0

QUADRO II - Resumo da Análise de Covariância das Propriedades Óticas e Físico-mecânicas das Polpas Celulosicas de *Acacia mearnsii* e *Eucalyptus seligne*.

Propriedades	Fontes de Variação		Covariável (o.s.)	Condições (C)	Espécies (E)	Interação C x E	Resíduo
	GL	F					
Número de revoluções	GL	1	1244753904,00 52,5, 54**	20902192,00 10,46**	15428450,00 7,75**	33857,19 0,02n.s.	43 1999157,00 -
	GL	1					
Resistência à tração	GL	1	755245242,00 253,49**	3300154,00 1,1ln.s.	7500254,00 2,5ln.s.	97050,05 0,03n.s.	43 2923322,30 -
	GL	1					
Alongamento	GL	1	53,54 374,35**	0,63 3,82n.s.	0,81 4,76**	0,14 0,25n.s.	43 0,17 -
	GL	1					
Resistência ao arrebentamento	GL	1	45057,43 383,88**	513,54 4,37**	352,28 3,00n.s.	174,36 1,25n.s.	43 117,40 -
	GL	1					
Resistência ao rasgo	GL	1	48279,27 116,70**	1275,18 3,07n.s.	5002,04 4,82**	54,70 0,16n.s.	43 4,5, 43 -
	GL	1					

** Significativo ao nível de 5% de probabilidade.
n.s. Não significativo ao nível de probabilidade considerado.

Quadro 12 - Resumo da Análise de Covariância da Comparação entre as Propriedades óticas e físicas-mecânicas das Polpas Celulósicas de *Accacia mearnsii* e *Eucalyptus saligna*.

Propriedades	Fontes de Variância	Covariável (SR)	Condições (C)	Espécies (E)	Interação C x E		Resíduo
					GL	GL	
Volume específico aparente	GL	10,52	1	1	1	4,3	
	GL	170,52**	0,00	0,00	0,00	0,0%	
Resistência à passagem d'água	GL	1	1	1	1	1	
	GL	20230,3	128,37	112,16	13,94	151,27	
Altura	GL	131,50**	1,31n.s.	3,43n.s.	0,02n.s.	0,02n.s.	
	GL	1	1	1	1	1	
Opacidade	GL	557,33	55,45	164,85	0,70	4,50	
	GL	320,15**	64,1**	80,37**	0,20n.s.	0,20n.s.	
Coeficiente de dispersão de luz	GL	1	1	1	1	1	
	GL	32,57	0,02	2,25	0,12	0,12	
	GL	250,25**	0,17n.s.	18,75**	0,17n.s.	0,17n.s.	
	GL	1	1	1	1	1	
	GL	3201,75	56,75	331,88	7,84	14,24	
	GL	224,64**	3,99n.s.	25,4**	0,55n.s.	0,55n.s.	

** Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

n.s. Não significativo ao nível de probabilidade considerado.

so pode ser explicado pela queda do teor de hemicelulose (35), provocada pela ação mais agressiva do álcali ativo e da temperatura sobre os carboidratos.

4.5.2.2. Resistência à tração

No Quadro 10 encontram-se as médias dos resultados obtidos para a resistência à tração, expressa em comprimento de auto-ruptura. A análise de covariância dos tratamentos realizados (Quadro 11) indicou que os efeitos das espécies e das condições não foram significativos, ao nível de probabilidade estabelecido. Apesar disso, os dados referentes ao E. saligna, em todos os níveis, com exceção de 25°SR, tenderam a superar os de A. mearnsii. Os maiores comprimentos de auto-ruptura determinados para as polpas de A. mearnsii e E. saligna foram de 11767m e 13550m, respectivamente.

4.5.2.3. Resistência ao rasgo e ao alongamento

No Quadro 10 estão os valores médios, em diversos níveis de refino, do índice de rasgo e do alongamento. No Quadro 11 encontra-se o resumo da análise de covariância, que demonstrou efeito significativo das espécies na resistência ao rasgo e ao alongamento das folhas das polpas celulósicas.

As polpas de E. saligna apresentaram maiores valores de resistência ao rasgo e ao alongamento que as de A. mearnsii, em todos os graus de refino, à exceção de 25°SR. O maior índice de rasgo obtido para a A. mearnsii foi 116, a 40°SR, no cozimento realizado com 15,5% de álcali ativo e 165°C, e o maior alongamento foi de 3,66%, obtido a 55°SR, no mesmo cozimento. Para o E. saligna, os maiores valores foram de 137,5 e 4,33 para índice de rasgo e alongamento, respectivamente, e as condições de cozimento e grau de refino foram as mesmas de Acacia mearnsii.

4.5.2.4. Resistência ao arrebentamento

As médias dos valores alcançados para a resistência ao arrebentamento das celuloses de *Acacia mearnsii* e *Eucalyptus saligna*, expressa pelo índice de arrebentamento, estão no Quadro 10.

A análise de covariância (Quadro 11) mostrou efeito significativo do álcali ativo e da temperatura e efeito-não significativo das espécies, ao nível de probabilidade estabelecido. Isso indica que as variações da resistência ao arrebentamento são devidas, além do grau de refino, às condições de álcali ativo e de temperatura utilizadas.

Os maiores valores encontrados para a resistência ao arrebentamento, 101 e 83, para *E. saligna* e *A. mearnsii*, respectivamente, foram obtidos a 55^oSR, na condição de 15,5% de álcali ativo e 165^oC. Embora, estatisticamente, não tenha sido detectada diferença significativa entre as espécies, diferenças dessa magnitude são importantes para os consumidores de celulose.

4.5.2.5. Volume específico aparente e resistência à passagem do ar

No Quadro 10 estão as médias dos resultados obtidos para volume específico aparente e resistência à passagem de ar, expressos em cm³/g e s/100cm³, respectivamente.

A análise de covariância (Quadro 12) mostrou que o álcali ativo, a temperatura e as espécies de madeira não tiveram efeito significativo. Apesar disso, as polpas não-refinadas de *Acacia mearnsii* tenderam a apresentar valores mais elevados de volume específico aparente que os de *E. saligna* e, no nível 25^oSR, valores inferiores. Essa tendência indica que o volume específico da acácia diminui mais rapidamente que o do eucalipto nos estádios iniciais de refino.

4.5.2.6. Alvura

As alvuras médias das polpas celulósicas de Acacia mearnsii e Eucalyptus saligna estão no Quadro 10.

A análise de covariância (Quadro 12) demonstrou que tanto as espécies como as condições exerçerem efeito significativo, ao nível de 5% de probabilidade. Os resultados demonstram que a queda de alvura, em valor absoluto, quando se aumentou o grau de refino, foi menor para o Eucalyptus saligna, na condição de temperatura de 170°C e álcali ativo de 17%. O fato de A. mearnsii apresentar, no tempo zero, valores inferiores de alvura não se caracteriza como fator negativo para o processo de branqueamento. Pesquisas recentes, desenvolvidas por FOELKEL e colaboradores (10), demonstram que a polpa kraft de acácia-negra pode ser facilmente branqueada.

4.5.2.7. Opacidade e coeficiente de dispersão de luz

No Quadro 10 estão as médias dos resultados obtidos para as propriedades de opacidade e coeficiente de dispersão de luz das polpas celulósicas de Acacia mearnsii e Eucalyptus saligna.

A opacidade e o coeficiente de dispersão de luz apresentaram, na análise de covariância (Quadro 12), comportamento semelhante, pois, para essas duas propriedades, somente as espécies foram significativas. O Eucalyptus saligna apresentou valores de opacidade e de coeficiente de dispersão de luz superiores aos da Acacia mearnsii, em todos os níveis de refino.

1. INTRODUÇÃO E CONCLUSÃO

A realização desse experimento, em condições de laboratório, teve como objetivo o estudo tecnológico da madeira de Acacia mearnsii De Wild como fonte de fibras para a indústria brasileira de celulose kraft. Foi estudada a influência de diferentes álcalis ativos (14, 15,5 e 17%) e temperaturas (160, 165 e 170°C) nas propriedades das polpas celulósicas kraft, utilizando-se caixões industriais desse espécie. Foram estabelecidos modelos matemáticos para expressar, com base no álcali ativo e na temperatura, as seguintes propriedades: rendimento, bruto e depurado, rejeitos, viscosidade, número kappa, solubilidade em soda a 5%, sólidos totais dissolvidos e matéria orgânica do licor negro, álcali ativo residual, hidróxido e sulfeto de sódio residuais no licor. Polpas de Eucalyptus saligna, produzidas com três combinações de álcali ativo e temperatura (14% RA e 160°C, 15,5% RA e 165°C e 17% RA e 170°C), foram utilizadas nas análises comparativas das polpas de acácia e de eucalipto. Desses três condições de cozimentos testadas, foram selecionadas duas (15,5% RA, 165°C e 17% RA, 170°C), em razão de produzirem polpas com qualidades que satisfazem as exigências do mercado mercadoria consumidor, quanto ao número kappa. Procedeu-se à avaliação das propriedades óticas e de resistências físicas-mecânicas dessas polpas.

Os estudos realizados demonstraram que:

- a) a Acacia mearnsii, por apresentar elevadas densidades básicas e o grande, e elevado rendimento em polpa, base

medeira, permite a obtenção de produção adequada de polpa por volume de digestor. Nas condições do experimento, para a obtenção de polpa celulósica com número kappa na faixa de 15 e 17, utilizando-se 1% de álcali ativo e 170°C, a Acacia mearnsii apresentou rendimento em toneladas de polpa por unidade de volume de digestor cerca de 20% superior à alcançada pelo Eucalyptus saligna;

b) o teor de rejeitos da polpa de Acacia mearnsii, que, usualmente, é considerado uma desvantagem dessa matéria-prima, foi similar ao da polpa de Eucalyptus saligna, no intervalo de número kappa entre 15 e 17;

c) quanto à deslignificação, a Acacia mearnsii semelha-se a outras foliosas comercialmente utilizadas na produção de polpa celulósica;

d) considerando os efeitos do álcali ativo e da temperatura sobre as diversas propriedades do cozimento, observou-se que, quando forem necessários ajustes no cozimento bruto de Acacia mearnsii, principalmente para correção do número kappa, seria preferível variar a temperatura máxima de cozimento em vez de variar a carga alcalina. A temperatura foi mais efetiva para alterar o número kappa, tendo apresentado ação menos agressiva que o álcali ativo sobre a viscosidade, 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 eficientemente realizados pela manipulação do álcali ativo que da temperatura;

f) por causa do teor de hemicelulose, a polpa de Acacia mearnsii deve ser destinada, principalmente, à produção de polpa para papel. Para a obtenção de polpa para produção de derivados de celulose (acetato, celulose, etc.) seria necessária redução acentuada no teor de hemicelulose, obtendo-se, com conseqüência, apreciável perda no rendimento final, o que bu-

naria o processo economicamente menos competitivo;

g) nas condições de cozimento estudadas, as polpas de Acacia mearnsii, apesar de terem apresentado resistências ligeiramente inferiores às de Eucalyptus saligna, demonstraram ser perfeitamente viáveis para consumo. Com baixo nível de refino ($25^{\circ}S'$), as propriedades que dependem da ligação das fibras (resistência à tração, ao arranhamento, ao rasgo e ao alongamento) foram superiores para as polpas da acácia, em comparação com as do eucalipto. Indicação de que as polpas de acácia têm fibras mais bem ligadas pode ser verificada pela observação da queda do volume específico aparente nesse nível de refino;

h) apesar do alto teor de hemiceluloses, as polpas de Acacia mearnsii exigiram 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 deste experimento, pode-se afirmar que a Acacia mearnsii constitui matéria-prime de boa qualidade para a produção de celulose kraft, com altos rendimentos e propriedades físicomecânicas e óticas adequadas.

Essa madeira apresenta, em comparação com a de E. saligna, maiores teores de holocelulose e menores teores de lignina, sendo, portanto, sugeridos estudos posteriores da utilização de processos termo-mecâno-químicos na polpação da acácia. Essa sugestão é feita com o objetivo de correlacionar a pesquisa científica com a cibusção política, econômica e social, porque se percebe, no momento, a procura de processos com maiores rendimentos e menores custos de produção.

C. LITERATURA CITADA

1. BARRICHELO, L.E.G. & PITÓ, J.O. A madeira das espécies de eucalipto como matéria-prima para a indústria de celulose e papel. Brasília, PRODEPEF, (13): 1-74, 1973.
2. SWIFTING, J.L. Methods of wood chemistry. New York, Interscience Publishers, 1967. 889 p.
3. CASEY, J.P. Pulp and paper chemistry and chemical technology. New York, John Wiley, 1980. Vol. I. 830 p.
4. FAO-FOOD AGRICULTURE ORGANIZATION. Elección de especies arborescentes 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.S. & BARRICHELO, L.E.G. Tecnologia de celulose e papel. Piracicaba, Centro Acadêmico "Luiz de Queiroz", 1975. 207 p.
7. FOELKEL, C.E.S.; AVHAKEMILO, C. & ANDRADE, J.O.H. Eucalipto molossima como matéria-prima fibrosa para a produção de celulose kraft. Belo Oriente, CERTIKA, 1977. 11 p. (Centro Pesquisa n.º 35).
8. FOELKEL, C.E.S. Estrutura da madeira. Belo Oriente, CERTIKA/UFV, 1977. 84 p.
9. FOELKEL, C.E.S.; BLASIL, M.A.B. & BARRICHELO, L.E.G. Métodos para determinação da densidade básica de cavaços para coníferas e folhosas. O Papel 33(8): 57-61. 1972.
10. FOELKEL, C.E.S. et alii. Informação passoal, 1982. S.n.s.
11. CORRISE, J.L., COLODETTE, J.L. & OLIVEIRA, C.C. Estudo das potencialidades do Jambuca vulgaris para a produção de papéis tipo kraft. O Papel 43(7): 38-45. 1982.

12. GONZAGA, J.V. et alii. Qualidade da madeira de Acacia mearnsii do região do Guaporé-Ita. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4. Anais. Belo Horizonte, 1983. Sociedade Brasileira de Silvicultura.
13. GLAJJA, A. Acacicultura. Cópia xerográfica, 2p. s.n.t.
14. GLAJJA, A. Acácia negra. In: Grande manual globo de agricultura, pecuária e receituário industrial. 2.ª ed. Porto Alegre, Editores Globo, 1979. pp. 1-5.
15. HAINAH, R.C.; FERGUS, S.A. & JOHNS, C.H. Kraft pulping and bleaching studies on young hardwood species. Appita, 30 (3): 483-7, 1977.
16. INTERPOLA, J.R. Processo de celulose a partir de madeira de Acacia melanoxylon, politissima e pinnontha. In: Anales Instituto de Investigaciones Agrarias, Recursos Naturales n° 1: 27-52, 1974.
17. CARREOS, A.M. Otimização da relação tempo-temperatura na produção de celulose kraft de Eucalyptus urophylla de origem híbrida. Tese, Universidade Federal, 1979. 53 p. (Tese M.S.).
18. REBKOK, A.Y.P. A acácia-negra como fonte de celulose para papel. In: SEMINÁRIO SOBRE CELULOSE E CONHECOS, 1.º, São Paulo, Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel, 1967, 5 p.

APPENDIX

QUADRO 13 - Análise de Variância do Número kappa das Polpas de Acacia mearnsii e Eucalyptus saligna.

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
Condições (C)	2	2200,69	1100,34	3549,48**
Espécies/C ₁	1	86,64	86,64	279,48**
Espécies/C ₂	1	3,84	3,84	12,38**
Espécies/C ₃	1	0,54	0,54	1,74n.s.
Resíduo	12	3,69	0,31	-

QUADRO 14 - Análise de Variância da Solubilidade em Soda a 5% das Polpas de Acacia mearnsii e Eucalyptus saligna.

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
Condições (C)	2	6,70	3,35	83,75**
Espécies/C ₁	1	48,73	48,73	1218,25**
Espécies/C ₂	1	36,01	36,01	900,25**
Espécies/C ₃	1	29,04	29,04	726,00**
Resíduo	12	0,45	0,04	-

QUADRO 15 - Análise de Variância da Viscosidade Comparação entre Acacia mearnsii e Eucalyptus saligna.

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
Condições (C)	2	167201,75	83600,87	156,02**
Espécies/C ₁	1	730806	730806,00	1363,90**
Espécies/C ₂	1	68694	68694,00	128,20**
Espécies/C ₃	1	20886	20886,00	38,28**
Resíduo	12	6429,87	535,82	-

** Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

n.s. Não significativo ao nível de probabilidade considerado.

QUADRO 16 - Análise de Variância da Altura das Polpas de Acacia
mearnsii e Eucalyptus saligna.

Fontes de Variação	QL	SQ	QM	F
Condições (C)	2	149,20	74,60	932,50**
Espécies/C ₁	1	8,64	8,64	108,00**
Espécies/C ₂	1	17,34	17,34	216,75**
Espécies/C ₃	1	25,21	25,21	315,13**
Resíduo	12	0,10	0,08	-

** Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO IV - Valores Experimentais das Propriedades de Cozimento das Polpas Celulósicas de *Acacia mearnsii*

Alcalinativo (% Na ₂ O)	14,0			15,5			17,0		
Temperatura máxima (°C)	160	165	170	160	165	170	160	165	170
Rendimento bruto (%)	1: 57,28 2: 57,06 3: 58,57	55,68 55,61 56,67	53,95 54,14 54,41	54,95 55,19 56,58	53,18 53,83 54,42	52,25 52,60 52,57	53,63 53,50 53,45	52,28 52,43 53,24	51,87 51,57 52,26
Rejeitos (%)	1: 4,98 2: 4,82 3: 4,67	3,32 3,41 3,60	2,38 2,30 1,97	2,25 2,69 3,05	1,25 1,55 1,42	0,74 0,98 0,72	1,75 2,01 1,56	1,15 1,00 1,02	0,35 0,64 0,43
Rendimento depurado (%)	1: 52,30 2: 52,24 3: 53,90	52,36 52,20 53,07	51,57 51,82 52,44	52,00 52,59 53,59	51,89 52,28 53,00	51,51 51,52 51,84	51,88 51,59 51,79	51,12 51,43 52,21	51,52 51,03 51,00
Número kappa	1: 37,5 2: 38,4 3: 39,1	29,3 27,7 27,7	22,9 21,2 20,0	32,6 32,0 33,2	22,2 23,7 22,3	18,0 18,5 18,7	24,6 25,2 25,2	18,2 15,2 18,6	15,2 15,0 15,5
Viscosidade (cm ³ /s a 5%)	1: 125,0 2: 123,8 3: 123,5	127,9 128,7 127,9	123,0 121,1 121,8	125,5 125,2 127,2	123,8 123,1 124,4	118,0 119,1 119,7	124,2 127,2 123,6	115,6 117,3 119,2	106,2 107,5 109,5
Solubilidade em soda a 5%	1: 16,0 2: 16,2 3: 15,8	15,8 15,5 15,7	15,5 15,6 15,7	15,5 15,6 15,5	15,1 15,0 15,3	15,0 15,0 15,1	14,3 14,5 14,5	14,3 14,0 14,4	13,7 14,0 13,9
Altura (% ISO)	1: 33,0 2: 33,5 3: 32,0	34,3 35,1 34,5	34,6 36,0 34,6	35,0 35,3 35,0	37,7 37,0 37,3	37,9 37,9 35,9	37,6 37,5 37,7	39,5 38,3 38,2	39,5 38,3 39,4
Fator H	1: 344,6 2: 346,2 3: 346,0	534,6 525,4 525,6	802,1 802,9 795,0	344,9 338,3 340,5	526,6 526,3 522,4	821,8 801,8 814,2	246,6 250,6 351,8	541,1 522,9 530,5	812,7 797,5 800,5

QUADRO 18 - Valores Experimentais das Propriedades dos Licores Negros Obtidos dos Cozimentos de Cavacos de Acacia mearnsii.

Álcali ativo (% Na ₂ O)	14,0			15,5			17,0		
Temperatura máxima (°C)	130	155	170	160	165	170	160	165	170
Sólidos totais dissoltos (%)	1,9 2,8 3,9	14,55 12,81 13,75	15,25 14,97 15,00	14,97 15,44 14,38	15,30 15,55 15,53	15,36 15,54 15,23	15,75 15,26 15,93	16,74 16,43 15,11	16,73 17,15 16,70
Sólidos orgânicos (%)	1,9 2,9 3,9	58,14 58,70 58,43	60,02 59,85 58,23	59,35 59,42 58,06	58,37 59,84 58,21	59,45 59,43 58,48	58,80 58,35 58,09	59,67 58,53 58,74	58,75 58,27 51,03
Álcali ativo residual (g/l)	1,9 2,9 3,9	13,22 13,78 13,52	12,59 12,75 12,84	11,55 12,2 12,45	15,53 16,60 16,98	14,43 15,74 15,65	12,84 15,43 15,04	12,58 20,21 20,25	18,48 16,11 12,78
Hidróxido de sódio residual (g/l)	1,9 2,9 3,9	8,43 9,19 8,87	7,75 8,04 7,84	7,06 7,13 7,18	11,11 11,28 11,51	9,94 9,77 9,29	8,34 9,22 9,00	14,01 14,37 14,47	13,77 13,03 12,86
Sulfeto de sódio residual (g/l)	1,9 2,9 3,9	4,73 4,53 4,65	4,84 4,71 5,00	4,59 5,09 5,28	5,42 5,32 5,47	5,49 5,97 5,67	5,88 5,21 5,04	5,83 5,25 5,33	6,31 5,08 5,12
pH	1,9 2,9 3,9	12,20 12,85 13,50	12,80 12,85 12,85	12,80 12,95 13,00	13,10 13,15 13,00	13,85 12,00 12,25	13,15 13,10 12,95	13,00 13,05 13,20	12,95 12,95 13,00

**QUADRO 19 - Valores Experimentais das Propriedades de Cozimento das Polpas Celulósicas Obtidas de Cavacos de Eucalyptus ca-
ligna**

Álcali ativo (% Na ₂ O)	14,0	15,5	17,0
Temperatura máxima (°C)	160	165	170
Rendimento bruto (%)	1º 57,06 2º 56,30 3º 56,88	53,67 52,54 53,16	50,44 50,48 50,96
Média/desvio-padrão	55,75 0,40	53,12 0,57	50,63 0,30
Rejeitos (%)	1º 5,18 2º 5,90 3º 6,84	1,64 1,90 1,69	0,54 0,71 0,61
Média/desvio-padrão	5,91 0,83	1,74 0,14	0,62 0,09
Rendimento depurado(%)	1º 51,89 2º 50,40 3º 50,04	52,03 50,64 51,47	49,90 49,77 50,35
Média/ desvio-padrão	50,70 0,98	51,38 0,70	50,01 0,30
Número kappa	1º 45,7 2º 45,0 3º 46,1	24,3 24,0 24,7	15,5 16,4 16,3
Média/ desvio-padrão	45,9 0,21	24,3 0,35	16,1 0,43
Viscosidade (cm ³ /g)	1º 518 2º 524 3º 535	1051 1005 1016	962 974 941
Média/desvio-padrão	545 43,4	1024 24,0	959 15,7
Solubilidade em soda a 5% (%)	1º 10,1 2º 10,2 3º 10,6	10,0 10,4 10,2	9,4 9,7 9,4
Média/desvio-padrão	10,3 0,26	10,2 0,20	9,5 0,17
Alvura (% ISO)	1º 35,5 2º 35,7 3º 35,5	40,6 40,2 40,7	43,3 42,3 43,8
Média/desvio-padrão	35,5 0,12	40,7 0,10	43,3 0,45

QUADRO 20 - Valores Experimentais das Propriedades dos Licores Negros Obtidos de Cavacos de Eucalyptus saligna.

Álcali ativo (% Na ₂ SO ₄)	14,0	15,5	17,0
Temperatura máxima (°C)	160	165	170
Sólidos totais dissolvidos (%)	19° 14,65 29° 13,93 39° 14,33	15,67 15,84 15,81	17,41 17,60 18,17
Média/desvio-padrão	14,30 0,37	15,77 0,09	17,73 0,40
Sólidos orgânicos (%)	19° 52,38 29° 61,40 39° 61,98	61,33 61,77 60,73	52,23 61,25 61,83
Média/desvio-padrão	61,67 0,68	61,28 0,52	61,77 0,49
Álcali ativo residual (g/l)	19° 15,67 29° 15,92 39° 16,04	18,24 18,24 19,14	20,66 20,85 21,34
Média/desvio-padrão	16,21 0,40	18,54 0,52	20,92 0,30
Hidróxido de sódio residual (g/l)	19° 12,27 29° 11,58 39° 11,65	12,89 13,12 14,04	14,83 14,95 15,64
Média/desvio-padrão	11,83 0,38	13,35 0,61	15,14 0,44
Sulfeto de sódio residual (g/l)	19° 4,40 29° 4,34 39° 4,39	5,35 5,12 5,10	5,83 5,89 5,60
Média/desvio-padrão	4,38 0,03	5,19 0,14	5,77 0,15
pH	19° 12,50 29° 12,95 39° 12,95	13,50 13,50 13,10	12,70 13,00 13,00
Média/desvio-padrão	12,80 0,26	13,37 0,23	12,90 0,17
Fator II*	19° 348,0 29° 345,4 39° 347,7	522,1 530,4 526,1	815,5 802,2 814,4
Média/desvio-padrão	347,3 1,42	526,2 4,15	813,7 7,1

* Propriedade comum ao licor negro e à polpa celulósica.

TABUO 11 - Valores Experimentais das Propriedades Físico-mecânicas e Óticas dos Polpas Celulósicos Não-refinadas.

Espécie	<i>Eucalyptus mearnsii</i>	<i>Eucalyptus saligna</i>
Alcali ativo (% NaOH)	15,5	17,0
Temperatura (°C)	165	170
Srau Schopper-Riegler (SSR)	18 20 30	15,0 15,0 15,0
Média/desvio-padrão	14,7 0,6	15,0
Resistência à tração (N)	12 25 30	790 810 921
Média/desvio-padrão	819 104	154 113
Alongamento (%)	18 20 30	3,30 0,40 0,30
Média/desvio-padrão	0,4 0,1	0,5
Resistência ao arranque	18 20 30	1,60 3,40 3,98
Média/desvio-padrão	2,59 0,33	3,10 0,3
Resistência ao reago	18 20 30	20,7 15,2 17,1
Média/desvio-padrão	22,8 0,7	17,6 2,1
Resistência ao ar (s/100cm ³)	18 20 30	0,20 0,20 0,20
Média/desvio-padrão	0,2	0,13 0,05
Volume específico-aparente (cm ³ /g)	18 20 30	2,89 2,82 2,70
Média/desvio-padrão	2,83 0,11	2,86 0,03
Altura (% ISO)	18 20 30	37,7 37,0 37,3
Média/desvio-padrão	37,3 0,6	37,7 0,4
Opacidade-Lo/Roo-(%)	18 20 30	38,2 38,4 38,5
Média/desvio-padrão	38,3 0,1	38,5 0,2
Coeficiente de dispersão de luz (m ² /g)	18 20 30	45,2 45,7 41,4
Média/desvio-padrão	43,7 5,3	45,2 3,0

QUADRO 22 - Valores Experimentais das Propriedades Óticas e Físico-mecânicas das Polpas Celulósicas lefiadas a 25°St.

especies	<i>Acacia mearnsii</i>	<i>Eucalyptus saligna</i>		
Aloetil ativo (% H ₂ O)	15,5	17,0	15,5	17,0
Temperatura (°C)	165	170	165	170
Número de revoluções	19 39 31	4150 4400 4000	4100 4000 4200	850 925 1000
Média/desvio-padrão	4183 202	4100 100	925 75	917 104
Resistência à tração (m)	19 39 31	3000 9050 3250	8710 8200 8110	8250 7850 7922
Média/desvio-padrão	3117 151	841 146	8007 213	7570 115
Alongamento (%)	19 39 31	2,57 2,58 2,70	2,75 2,35 2,39	2,27 2,30 2,37
Média/desvio-padrão	2,62 0,07	2,44 0,07	2,31 0,05	2,07 0,13
Resistência ao arranque	19 39 31	53,5 53,6 49,0	49,3 45,0 46,5	47,5 43,0 49,4
Média/desvio-padrão	52,0 2,6	46,1 3,2	46,6 3,22	38,1 1,2
Resistência ao rasgo	19 39 31	105,2 103,0 101,0	94,9 100,4 96,2	105,4 103,0 105,0
Média/desvio-padrão	105,1 2,0	97,0 3,1	104,5 1,3	81,3 2,1
Resistência ao ar (s/100cm ²)	19 39 31	2,00 1,50 1,30	1,70 1,80 1,30	2,60 2,70 2,50
Média/desvio-padrão	1,6 0,4	1,50 0,36	2,60 0,10	2,35 0,08
Volume específico aparente (cm ³ /g)	19 39 31	1,67 1,69 1,69	1,59 1,59 1,64	1,90 1,86 1,85
Média/desvio-padrão	1,68 0,01	1,67 0,03	1,87 0,03	1,64 0,02
Alvura (% ISO)	19 39 31	30,3 29,7 30,6	33,0 32,5 32,5	36,5 37,3 37,0
Média/desvio-padrão	30,2 0,5	31,7 0,3	36,9 0,4	38,9 0,3
Opacidade-to/100 (%)	19 39 31	96,1 97,3 97,4	96,8 97,1 97,7	98,1 97,6 97,9
Média/desvio-padrão	97,1 0,4	97,1 0,5	97,8 0,3	98,1 0,1
Translucidez de dispersão de luz (m ² /kg/l)	19 39 31	28,3 28,5 30,3	29,3 31,3 29,5	30,5 31,5 31,8
Média/desvio-padrão	29,0 1,1	30,2 0,4	31,3 0,3	31,7 0,1

QUADRO 23 - Valores Experimentais das Propriedades Óticas e Físico-mecânicas dos Polpas Celulósicas Refinadas a 40°SR.

Espécies	<i>Acacia mearnsii</i>	<i>Eucalyptus saligna</i>			
Álcali ativo (% Na ₂ O)	15,5	17,6	15,5	17,9	
Temperatura (°C)	165	17	165	170	
Número de revoluções	10 20 30	9100 9100 8600	11100 11100 11350	7550 7300 6950	9650 8200 6650
Média/desvio-padrão	8967 321	11283 161	1267 301	9400 133	
Resistência à tração (N)	10 20 30	11120 11140 11370	10815 10710 10705	12700 12535 12650	11730 11320 11270
Média/desvio-padrão	11210 139	10742 62	12628 85	11985 61	
Alongamento (%)	10 20 30	3,45 3,30 3,50	3,05 3,30 3,30	3,28 3,88 3,75	3,41 3,35 3,30
Média/desvio-padrão	3,48 0,10	3,24 0,14	3,87 0,12	3,250,06	
Resistência ao arrebentamento	10 20 30	76,1 73,0 75,6	61,2 62,6 63,1	92,4 88,3 91,7	76,5 79,1 74,5
Média/desvio-padrão	14,9 1,7	52,3 1,0	90,8 2,2	76,8 6,5	
Resistência ao resgo	10 20 30	116,0 114,3 118,0	103,0 107,3 105,2	137,0 138,8 136,6	110,8 119,3 127,5
Média/desvio-padrão	116,1 1,9	105,5 3,2	137,5 1,2	122,5 4,7	
Resistência ao ar (kg/100cm ³)	10 20 30	14,5 14,8 20,0	17,7 9,2 12,1	18,3 19,1 20,2	15,7 16,5 14,5
Média/desvio-padrão	15,4 3,1	11,5 2,0	19,2 1,0	15,5 1,5	
Volume específico aparente (cm ³ /g)	10 20 30	1,50 1,52 1,49	1,50 1,48 1,49	1,48 1,52 1,54	1,51 1,52 1,53
Média/desvio-padrão	1,59 0,02	1,42 0,01	1,51 0,03	1,51 0,0	
Altura (% ISO)	10 20 30	28,5 27,5 22,0	31,5 30,5 31,0	31,5 31,9 32,8	31,0 30,3 32,5
Média/desvio-padrão	28,3 0,8	30,2 0,6	32,1 0,5	33,3 0,1	
Opacidade - Ro/Roo (%)	10 20 30	96,5 97,3 95,7	96,2 96,7 96,4	97,0 96,7 96,5	97,1 96,2 96,5
Média/desvio-padrão	96,6 0,1	96,2 0,1	96,7 0,3	96,6 0,1	
Coeficiente de dispersão de luz (m ² /kg)	10 20 30	25,4 25,5 25,8	27,4 25,0 27,0	28,3 27,8 28,9	30,3 27,9 30,1
Média/desvio-padrão	25,4 0,2	27,3 0,2	28,3 0,6	29,8 0,7	

TABUADO 24 - Valores Experimentais das Propriedades Óticas e Físico-mecânicas das Folhas Celulósicas Refinadas a 55ºS.

Espécies	<i>Acacia mearnsii</i>	<i>Eucalyptus saligna</i>			
Aleali ativo (% H ₂ O)	15,5	17,0	15,5	17,0	
Temperatura (°C)	135	170	135	170	
Número de revoluções	10 10 30	11300 11600 11100	14.00 13000 14500	11850 11650 11000	15100 14500 15000
Média/desvio-padrão		11300 265	14133 503	11500 444	1486 321
Resistência à tração (N)	10 20 30	11530 11570 11200	11800 11140 11150	13500 13400 13750	13.911 13.1 13.301
Média/desvio-padrão		1151 376	11730 147	13550 180	13311 361
Alongamento (%)	10 20 30	3,60 3,62 3,75	3,32 3,48 3,52	4,24 4,42 4,22	3,68 3,85 3,64
Média/desvio-padrão		3,65 0,08	3,44 0,11	4,33 0,10	3,71 0,13
Resistência ao arranque	10 20 30	81,8 89,0 85,0	74,5 73,8 77,5	103,6 99,3 100,3	84,0 90,8 80,3
Média/desvio-padrão		82,3 2,5	75,3 1,77	10,1 2,3	85,0 5,3
Resistência ao resgo	10 20 30	101,5 109,2 113,0	95,2 102,2 100,3	128,0 132,3 126,2	124,3 124,0 131,5
Média/desvio-padrão		111,2 1,2	2,2 3,6	129,1 2,9	126,5 4,2
Resistência ao ar (s/100cm ³)	10 20 30	50,0 54,0 50,0	38,8 35,9 43,5	75,0 72,8 10,6	50,0 63,6 70,5
Média/desvio-padrão		54,7 5,0	3,1 4,3	76,8 2,2	64,7 5,3
Volume específico aparente (cm ³ /g)	10 20 30	1,45 1,46 1,46	1,44 1,46 1,46	1,42 1,45 1,46	1,40 1,41 1,41
Média/desvio-padrão		1,45 0,01	1,46 0,02	1,44 0,03	1,45 0,03
Alvura (%) ISO	10 20 30	38,0 27,0 26,0	30,5 22,8 22,1	30,0 30,3 21,1	31,0 31,2 33,3
Média/desvio-padrão		31,1 0,5	32,3 0,4	39,5 0,5	32,4 0,6
Opacidade - Ro/100 (%)	10 20 30	95,3 93,4 95,3	93,1 95,1 95,1	96,7 96,6 96,2	95,5 95,1 95,6
Média/desvio-padrão		95,3 0,1	93,1	95,5 0,3	95,7 0,3
Coeficiente de dioperação de luz (m ² /kg)	10 20 30	24,7 24,7 25,0	26,2 25,1 25,2	25,8 25,8 26,5	28,4 27,8 27,9
Média/desvio-padrão		24,8 0,3	25,7 0,8	26,0 0,4	28,5 0,6

