

SEMINÁRIO DE INTEGRAÇÃO

FLORESTA - INDÚSTRIA

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS - IPEF

GRUPO SUZANO FEFFER

DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA - ESALQ-USP

SEMINÁRIO DE INTEGRAÇÃO

FLORESTA - INDÚSTRIA



INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS — IPEF

GRUPO SUZANO FEFFER

DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA — ESALQ-USP

PARTICIPANTES:

TÉCNICOS FLORESTAIS E INDUSTRIAIS DAS EMPRESAS
ASSOCIADAS AO IPEF

OUTUBRO - 1975

EMPRESAS ASSOCIADAS AO IPEF

No Espírito Santo e Bahia

- ARACRUZ FLORESTAL S.A. - em Aracruz, ES.
- EMPREENDIMENTOS FLORESTAIS S.A. — FLONIBRA - em Linhares, São Matheus e Sul da Bahia.
- PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. — PETROBRAS - GEAT - em Salvador, Candeias, São Sebastião do Passé e Catú/Pojuca.
- REFLORESTADORA E AGRÍCOLA BAIANA LTDA. - em Salvador, Pojuca, Alagoinhas e Entre Rios.

Em São Paulo e Rio de Janeiro

- CHAMPION PAPEL E CELULOSE S.A. - em Mogi Guaçu e Brotas.
- CIA. SUZANO DE PAPEL E CELULOSE - em Suzano e Itapetininga.
- DURATEX S.A. INDÚSTRIA E COMÉRCIO - em Jundiaí e L. Paulista.
- CIA. AGRÍCOLA E INDUSTRIAL CÍCERO PRADO - em Pindamonhangaba
- RIPASA S.A. CELULOSE E PAPEL - em Limeira.
- CIA. AGRO FLORESTAL MONTE ALEGRE - em Agudos.
- EUCATEX S.A. INDÚSTRIA E COMÉRCIO - em Salto e Bofete.
- INDS. DE PAPEL SÃO SIMÃO S.A. - em Jacareí e Vale do Paraíba.
- ALPLAN — INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE CHAPAS DE MADEIRA AGLOMERADA - em Itapetininga e Rio de Janeiro.

Em Minas Gerais

- FLORESTAS RIO DOCE S.A. - em Belo Horizonte, Grão Mogol e Itabira.

ViniFort Ultra

— PLANTAR — PLANEJAMENTO, TÉCNICA E ADMINISTRAÇÃO DE REFLORESTAMENTOS - em Belo Horizonte, Curvelo, Buritizeiro e João Pinheiro.

No Paraná

— INDS. KLABIN DO PARANÁ DE CELULOSE S.A. - Em Telêmaco Borba.

— INDÚSTRIAS MADEIRIT S.A. - em Garapuava.

Em Santa Catarina

— MOBASA — MODO-BATTISTELLA REFLORESTAMENTO S.A., em Lages e Rio Negrinho.

— OLINKRAFT CELULOSE E PAPEL LTDA. - em Lages e Igaras.

— PAPEL E CELULOSE CATARINENSE S.A. - em Lages.

— RIGESA — CELULOSE, PAPEL E EMBALAGENS LTDA. - em Três Barras.

— EMBRASCA — EMPREENDIMENTOS FLORESTAIS E AGRÍCOLAS LTDA. - em Joinvile.

No Rio Grande do Sul

— INDÚSTRIA DE CELULOSE BORREGAARD S.A. - em Guaíba.

A HORA DA INTEGRAÇÃO

A era do empirismo está chegando ao fim e a indústria florestal, mais do que qualquer outra, está a requerer um planejamento total e integrado.

Nesse estudo, especial destaque deve ser dado às indústrias que utilizam a madeira para a produção de celulose, pois, o País pretende, a curto prazo, se lançar como exportador de destaque no cenário mundial. É fundamental, pois, que além de alcançar as metas quantitativas do Programa Nacional de Papel e Celulose se procure produzir uma celulose de qualidade, capaz de competir com as de outros produtores.

A qualidade do produto final está na dependência direta da qualidade da matéria-prima empregada e dos avanços tecnológicos do setor industrial. Um setor não pode prescindir da colaboração do outro: se por um lado o setor industrial deverá estabelecer os parâmetros desejados da matéria-prima necessária para a produção de um determinado tipo de celulose, o setor florestal terá sob sua responsabilidade a adequação da mesma, dentro daqueles limites pré-estabelecidos. Somente desta maneira, o setor florestal poderá cumprir sua finalidade de planificar e conduzir a investigação científica, visando atender tanto em quantidade, quanto à qualidade das matérias primas necessárias.

O presente Seminário, cujos Anais são agora apresentados, procurou colaborar para a consecução desse objetivo. Resultou do esforço conjunto do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, Cia. Suzano de Papel e Celulose e Seção de Química de Celulose e Papel do Departamento de Silvicultura da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo.

DR. HELLÁDIO DO AMARAL MELLO

AGRADECIMENTOS

Cabe aqui um agradecimento a todos que, envolvidos nas mais diversas variações do binômio floresta-indústria, pela conscientização e responsabilidade profissional, encontrando-se devidamente convictos dos valores e necessidades dessa integração de objetivos, não olvidarão esforços para sua premente e concreta efetivação.

I N D I C E

	<u>Página</u>
I - COMPANHIA SUZANO DE PAPEL E CELULOSE - HISTÓRICO	1
II - TRABALHOS TÉCNICOS APRESENTADOS	4
1) AVALIAÇÃO DAS MADEIRAS PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE ATRAVÉS DE SUAS CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS: UMA REFERÊNCIA ESPECIAL PA RA O GÊNERO <i>EUCALYPTUS</i>	5
2) ESTUDOS PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE SULFA- TO DE SEIS ESPÉCIES DE EUCALIPTO	34
3) ESTUDO COMPARATIVO DAS MADEIRAS DE <i>EUCALYPTUS SALIGNA</i> , <i>E. PANICULATA</i> , <i>E.</i> <i>CITRIODORA</i> , <i>E. MACULATA</i> e <i>E. TERETICORNIS</i> PARA A PRODUÇÃO DE CELULOSE SULFATO	69
APÊNDICE "A" - RENDIMENTOS BRUTOS E DEPURADOS, TEORES DE REJEITOS E NÚMEROS DE PERMANGANATO DAS CELULOSES	111
APÊNDICE "B" - PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DAS CELULOSES	116
APÊNDICE "C" - PROPRIEDADES DAS CELULOSES A 30°SR, 45°SR e 60°SR	141
4) O PROBLEMA DA CASCA DO EUCALIPTO	157
5) <i>EUCALYPTUS</i> PARA A FABRICAÇÃO DE CELULOSE ..	165
6) PROCESSOS MAIS INDICADOS DE POLPAÇÃO	173

COMPANHIA SUZANO DE PAPEL E CELULOSE - HISTÓRICO

Pode-se situar, por volta de 1923, o início das atividades do Grupo Feffer, no campo da indústria papelreira, já que por essa época o Sr. Leon Feffer se dedicava a esse ramo de atividades, acumulando uma experiência profissional que veio a frutificar, em 1938, na fundação da Companhia a que foi dado o seu nome e, a partir de então, em um progresso contínuo que conduziu à excelente situação atual da Indústria de Papel Leon Feffer S.A.

As instalações industriais da Indústria de Papel Leon Feffer estão localizadas no bairro do Ipiranga, da capital do Estado de São Paulo, o que vale dizer, mesmo no centro de um importante mercado consumidor de seus produtos.

Com o passar dos anos, a presente necessidade de expansão fez surgir um problema: a situação da fábrica no Ipiranga não comportava as ampliações projetadas, por absoluta precariedade do espaço disponível. Tratava-se, pois, de um sério obstáculo aos planos de crescimento da Companhia.

Surge então, em 1955, a oportunidade de aquisição da Indústria de Papel Euclides Damiani S.A., situada em Suzano, município do Estado de São Paulo, à margem da antiga estrada Rio-São Paulo, numa região de vastas reservas de eucalipto.

Incorporada ao Grupo Feffer, esta Indústria de Papel Euclides Damiani teve a sua razão social mudada para Companhia Suzano de Papel e Celulose, e seu objetivo ampliado, de modo a incluir "a exploração da indústria e comércio de papel e celulose".

Com essa aquisição, estava dado o primeiro passo de um grande plano de expansão industrial, que não só permitiu a ampliação e diversificação da produção de papéis, como possibilitou ao Grupo Feffer se tornar, alguns anos após, o principal fabricante de celulose alvejada de eucalipto no País.

Graças à política de incentivos instituída e continuamente atualizada, desde 1950, o setor de produção de celulose e papel vem tendo no Brasil uma evolução que acompanha de perto o ritmo global da economia nacional e, o que é muito importante, segundo um modelo eficaz de colaboração entre capitais de investimento majoritariamente nacionais e capitais de financiamento estrangeiros (principalmente para cobertura da aquisição de máquinas e equipamentos). Essa associação proveitosa vem sendo feita com o apoio de órgãos oficiais de planejamento e de financiamento, como é o caso, mais importante entre todos, do Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico.

Dessa forma, tem sido possível às principais empresas do setor manter-se em dia com os avanços da tecnologia e — tal como começa agora a acontecer — atingir escalas de produção que lhes dão condições de oferecer seus produtos no mercado internacional.

A COMPANHIA SUZANO DE PAPEL E CELULOSE é, nesse quadro, um exemplo de como a iniciativa privada brasileira, devidamente atendida e escudada por medidas governamentais, enfrenta com eficiência os complexos problemas ligados à produção, num setor básico da economia nacional, sem perder o passo em relação às solicitações do mercado cujas exigências de maiores quantidades, melhor qualidade e menores custos tem de estar sempre racionalmente atendidas.

Com a realização do presente projeto, a COMPANHIA SUZANO DE PAPEL E CELULOSE firmará definitivamente a sua posição entre as três maiores empresas do seu setor, não só em termos de capacidade instalada, mas principalmente de atualização tecnológica e racionalidade de custos.

Ao atingir a escala de produção de 500 t/dia, a Companhia Suzano de Papel e Celulose amadurece para o propósito de exportar parte de sua produção, em condições competitivas.

Esse salto qualitativo tem por base uma reformulação completa de sua estrutura industrial — que acarre-

tará um investimento global da ordem de Cr\$130.000.000,00 (cento e trinta milhões de cruzeiros novos) dos quais cerca de Cr\$38.660.000,00 (trinta e oito milhões, seiscentos e sessenta mil cruzeiros novos) serão aplicados na aquisição de maquinaria estrangeira (US\$9.182.493,00).

As exportações que a empresa realizará representarão para o País uma receita cambial da ordem de US\$11,4 milhões por ano, o que vale dizer que já no primeiro ano se terá compensado o dispêndio de divisas com a aquisição das máquinas e equipamentos para a sua fábrica.

Tendo em vista a importância de seu projeto para a economia nacional, a Companhia Suzano de Papel e Celulo se tem por certo receber das autoridades governamentais, através do GEIPAG — Grupo Executivo das Indústrias de Papel e Artes Gráficas, os incentivos fiscais e creditícios previstos na Lei.

Álvaro Ragaini

1.8.000.000.000

18.364.986.000,00

T R A B A L H O S T É C N I C O S

A P R E S E N T A D O S

AVALIAÇÃO DAS MADEIRAS PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE ATRAVÉS
DE SUAS CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIIS: UMA REFERÊNCIA
ESPECIAL PARA O GÊNERO *EUCALYPTUS*

C.E.B. Foelkel (*)

L.E.G. Barrichelo (*)

1 - INTRODUÇÃO

Considerando que as propriedades tecnológicas da madeira estão intimamente relacionadas com a sua estrutura anatômica, química e física, inúmeros trabalhos de pesquisa apareceram recentemente procurando determinar, através de estudos histológicos e químicos, as qualidades e possibilidades de emprego das diferentes essências florestais. No presente trabalho procurou-se apresentar uma descrição sumária dos elementos celulares que entram na composição das madeiras em geral e daqueles que são características do gênero *Eucalyptus*. São também apresentadas as opiniões encontradas na literatura acerca das correlações entre estrutura anatômica e química da madeira e propriedades das celuloses correspondentes.

2 - NOÇÕES DE ANATOMIA DA MADEIRA

Em razão de sua natureza vegetal, a madeira é um material muito particular e diferente de todos os materiais estruturais de uso corrente, porque é elaborada por um ente vivo que é a árvore. Esta elaboração se faz segundo leis determinadas e é influenciada por diversos agentes que intervêm ao longo de toda a vida da planta: solo, clima, altitude, práticas silvi-culturais, etc.

Embora grosseiramente a madeira se assemelhe a uma substância compacta, estruturalmente ela é constituí

(*) Departamento de Silvicultura - ESALQ

da por diminutos elementos celulares que são diferenciados conforme as funções que desempenham. É o conjunto e o arranjo dos elementos anatômicos que definem a estrutura da madeira. Embora todas as madeiras sejam constituídas fundamentalmente dos mesmos compostos químicos, a forma, tamanho e disposição dos elementos anatômicos tornam diferentes suas estruturas. Entretanto, o arranjo estrutural mantém-se constante para cada espécie, a ponto de se tornar possível a classificação e identificação das madeiras por observação desta característica.

Dentro de certos limites, o estudo da estrutura da madeira permite também avaliar as possibilidades de sua aplicação. Assim, a porcentagem dos constituintes anatômicos, o comprimento das fibras, a espessura da parede celular, a presença de extrativos e minerais, a orientação das fibrilas nas células, etc, permitem prever o comportamento das madeiras quanto a permeabilidade, resistência mecânica, condições de secagem, colagem e trabalhabilidade, duração e produção de celulose para papel.

Em virtude dos elementos lenhosos se alinharem de forma diferente segundo as direções consideradas, o aspecto da madeira muda conforme o plano de corte em que é observada. Para o estudo anatômico da madeira é necessária a consideração de três seções segundo planos ortogonais: seção transversal, normal ao eixo e correspondente ao topo das toras; seção radial, que corresponde a um plano de corte passando pelo eixo da árvore e a seção tangencial que resulta de cortes paralelos ao eixo do tronco e tangenciais às camadas de crescimento.

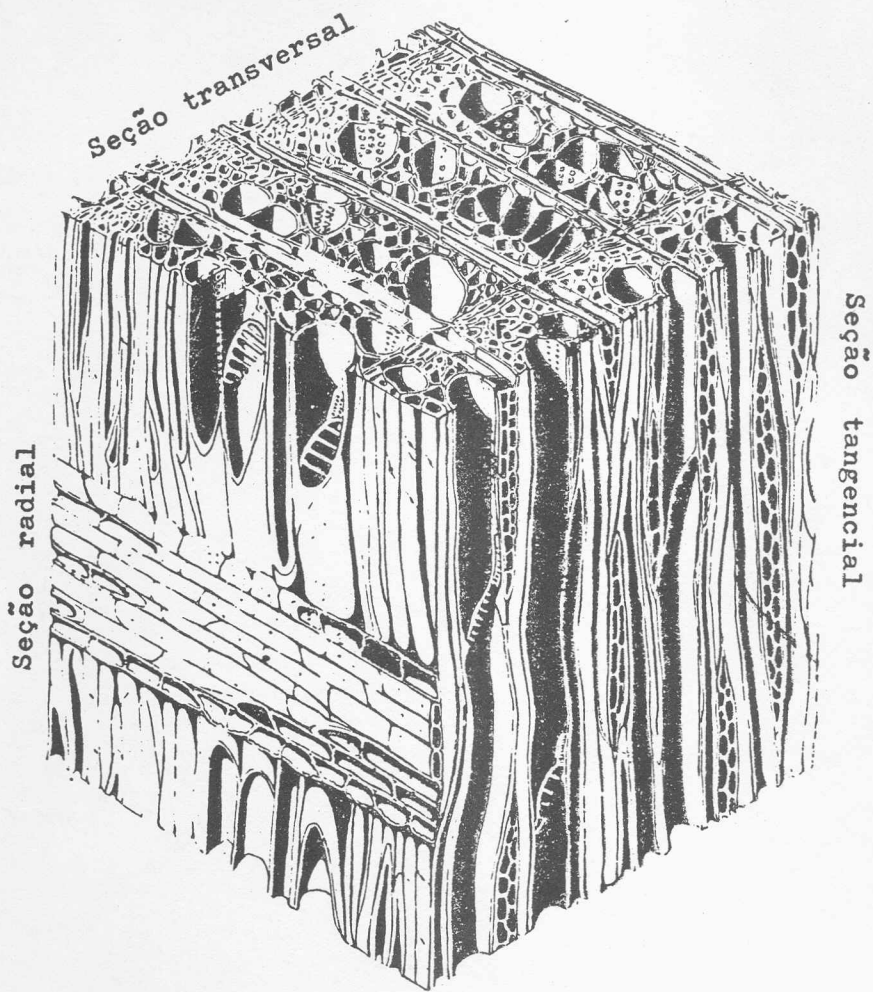


Figura 1: Seções de estudo anatômico de madeiras

As células que compõem a madeira podem ser identificadas conforme a forma e função que desempenham: as células que exercem função mecânica de sustentação ou condução são denominadas prosenquimatosas; as que possuem função de reserva e distribuição de carboidratos são conhecidas como parenquimatosas.

As células prosenquimatosas são células longas e finas, geralmente possuindo as extremidades afiladas. Dentre estas, destacam-se:

- a) traqueídeos: são células alongadas e lignificadas, sem perfurações nas extremidades e com pontuações bastante desenvolvidas. Compõem cerca de 90% do volume total de madeira de coníferas.
- b) elementos de vaso: são células curtas e largas que apresentam extremidades perfuradas para condução da seiva. Ligam-se pelas extremidades umas às outras formando estruturas tubulares longitudinais no interior da madeira. São características de madeira de folhosas.
- c) fibras: são elementos de sustentação, longos e estreitos. Conforme as características que apresentam são denominados: fibras libriformes (apresentam pontuações simples), fibrotraqueídeos (com pontuações areoladas), traqueídeos vasicêntricos e traqueídeos vasculares. São todos característicos em madeiras de folhosas.

As células parenquimatosas são células curtas, de paredes finas e que compõem os parênquimas axial e radial.

2.1. A madeira de coníferas

A organização das madeiras de coníferas é relativamente simples. Entram em sua constituição:

Elementos longitudinais

- Prosenquimatosos: traqueídos.
- Parenquimatosos: células epiteliais dos canais de resina e parênquima axial.

Elementos radiais

- Prosenquimatosos: traqueídos radiais.
- Parenquimatosos: células do parênquima radial e dos canais de resina.

De uma maneira geral, os traqueídos longitudinais entram com 90% na composição volumétrica da madeira, os canais de resina com 1% e o restante é representado por células parenquimatosas.

2.2. A madeira de folhosas

A estrutura da madeira de folhosas é mais complexa visto que estas representam um estágio mais evoluído no reino vegetal. Os seguintes elementos entram em sua composição:

Elementos longitudinais

- Prosenquimatosos: elementos de vasos, fibras libriiformes, fibro-traqueídos, traqueídos vasicêntricos e traqueídos vasculares.
- Parenquimatosos: células do parênquima axial e células epiteliais dos canais de goma.

Elementos radiais

- Prosenquimatosos: não ocorrem.

— Parenquimatosos: células do parênquima radial e células epiteliais dos canais de goma.

As fibras libriformes entram na proporção de 45 a 70% do volume de madeira, os vasos entre 15 e 30% e o parênquima entre 10 a 40%.

3 - NOÇÕES DE QUÍMICA DA MADEIRA

Basicamente as madeiras são constituídas de celulose, lignina, hemiceluloses, extrativos e compostos minerais.

A celulose é o principal componente da parede celular e o principal responsável pelas propriedades e utilização da madeira. É um polímero linear formado única e exclusivamente pela união de unidades de anidro glicose ($C_6H_{10}O_5$), com elevado peso molecular.

A lignina é um polímero amorfo tridimensional, de composição química bastante complexa e que confere dureza e rigidez às fibras. É ela que mantém as fibras unidas entre si.

As hemiceluloses apresentam composição semelhante à celulose mas são bastante distintas no que se refere à configuração molecular. São polissacarídeos constituídos de outras unidades monoméricas além da anidro glicose, baixo peso molecular, dotados de certa plasticidade.

Os extrativos incluem um elevado número de compostos que podem ser solúveis em água, álcool, éter, álcool benzeno, etc. Entre eles incluem-se resinas, taninos, ácidos graxos, etc.

O teor de cinzas é geralmente menor que 1% e inclui geralmente cálcio, potássio, magnésio e sílica.

4 - RELAÇÕES ENTRE CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA E PROPRIEDADES DA CELULOSE E PAPEL

4.1. Introdução

O estudo das relações entre as características da madeira e as propriedades da celulose correspondente tem sido motivo de intensa pesquisa nos últimos 50 anos. Muitos dos resultados obtidos pelos inúmeros pesquisadores que se dedicam a este campo são conflitantes. A maioria das conclusões dos primeiros pesquisadores indicam a densidade da madeira e o comprimento da fibra como os principais fatores afetando a qualidade da celulose. Atualmente, mais e mais ênfase se tem dado a medições mais sofisticadas e a relações entre algumas destas características.

O efeito das características da madeira nas propriedades do papel é importante em razão da heterogeneidade física das fibras na madeira. É sabido que as propriedades de um papel produzido de uma espécie de madeira variam bastante em relação a um papel similar obtido de outra espécie. É por isso que se torna importante conhecer quais os fatores inerentes à madeira que afetam as qualidades do papel.

Os vários fatores que influenciam a qualidade da celulose e papel podem ser classificados em:

a) anatômicos ou morfológicos

- comprimento da fibra
- largura da fibra
- espessura da parede celular
- relações entre as dimensões fundamentais

b) físicos

- densidade básica
- relação lenho inicial/lenho tardio

- teor de madeira juvenil
- teor de madeira de reação
- teor de nós

c) inerentes à própria fibra

- ângulo micelar ou fibrilar
- resistência da fibra individual
- densidade da parede celular

d) químicos

- teor de celulose
- teor de lignina
- teor de hemiceluloses
- teor de extrativos e cinzas

A diferenciação entre fibra da madeira e fibra de celulose é importante. O termo "fibra", como é geralmente designada a celulose, pasta ou polpa celulósica, engloba todo e qualquer tipo de célula lenhosa presente na mesma. A maioria destas células são traqueídeos, no caso de coníferas, e fibras libríformes, fibro-traqueídeos, elementos de vaso e células parenquimatosas, no caso de folhosas.

Quando se considera a madeira como fonte de fibra, dois fatores devem ser considerados: rendimento em celulose e sua qualidade. O primeiro depende das características da madeira antes do cozimento e do processo empregado na conversão, enquanto o último depende das características anatómicas das fibras e das modificações ocorridas nelas devido ao processo de conversão. A qualidade desejada para a celulose depende do produto final. Assim, as qualidades da fibra para produzir papel kraft resistente diferem daquelas para papel de impressão. Como existe grande variabilidade na madeira dentro e entre árvores da mesma espécie e entre espécies diferentes, é fácil obter-se as qualidades desejadas no produto final, alterando-se alguma destas variáveis ou trabalhando-se com misturas de celuloses. Desta forma, a disponibilidade de maté-

ria-prima a preços convenientes, torna-se muitas vezes mais importante que as características da madeira e as de suas células.

4.2. Fatores anatômicos ou morfológicos

O papel pode ser definido como uma fina rede plana, constituída de fibras depositadas em vários ângulos. As fibras ao se inter cruzarem formam pontos de ligação que dão resistência ao papel. As características destas fibras, principais componentes do papel, são importantes para conferir ao mesmo as propriedades desejadas.

4.2.1. Comprimento da fibra

Há alguns anos atrás admitia-se o comprimento da fibra como a mais importante característica para a determinação das propriedades do papel, especialmente sua resistência. Atualmente tem-se reconhecido que muitas outras características da madeira apresentam fortes relações com a qualidade do papel. Entretanto, a importância do comprimento da fibra deve ser tomada em conta, principalmente porque inúmeros autores mostraram que as resistências dos papéis à tração, ao arrebentamento e ao rasgo são altamente influenciadas por ele. Encontram-se na literatura os seguintes tipos de relação entre resistência e comprimento de fibra (CF):

$$\text{Resistência à tração} = k_1 \times (\text{CF})^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{Resistência ao arrebentamento} = k_2 \times (\text{CF})$$

$$\text{Resistência ao rasgo} = k_3 \times (\text{CF})^{\frac{3}{2}}$$

A relação entre comprimento de fibra e resistências à tração e ao arrebentamento é bem aceita entre os pesquisadores, enquanto que com a resistência ao rasgo ocorrem

certas conflitâncias. Vários autores admitem que a resistência ao rasgo está intimamente relacionada com o comprimento de fibra enquanto outros postulam que a densidade da madeira é o principal fator, e o comprimento da fibra é de importância secundária.

A influência do comprimento da fibra na resistência do papel se explica considerando que com fibras longas há menor possibilidade que estas se separem da estrutura do papel quando se submete o mesmo a um esforço. Há autores que apontam uma maior capacidade de desfibrilamento às fibras longas, aumentando assim a possibilidade de ligações entre fibras.

4.2.2. Largura da fibra

É uma das características cuja relação com a qualidade da celulose é mais obscura. De forma geral parece que a largura da fibra não exerce influência nas propriedades da celulose. Alguns autores, entretanto, admitem uma correlação negativa entre largura da fibra e resistência ao arrebitamento: o aumento em largura da fibra resulta numa diminuição da resistência ao arrebitamento.

4.2.3. Espessura da parede celular

A espessura da parede celular é um dos fatores que mais se relaciona com a resistência da celulose. Por outro lado, como fibras com paredes mais espessas possuem maior teor relativo de celulose que fibras de paredes delgadas, existe também uma correlação positiva entre a espessura da parede celular e o rendimento em produção de celulose.

Se uma parede celular é espessa, a fibra tenderá a manter a sua forma original na folha de papel. As fibras com paredes delgadas sofrem colapso devido à ação de forças de compressão na fabricação do papel, e adquirem a forma de fitas.

As fibras tubulares na estrutura do papel não se ajustam perfeitamente, dando origem a papéis pouco densos, de baixa resistência à tração e ao arrebentamento e com alta opacidade.

As fibras de paredes delgadas formam folhas mais densas e devido sua maior flexibilidade, ocorre maior ligação entre as fibras. Isso conduz a papéis com maior resistência à tração e ao arrebentamento e menor opacidade.

A resistência ao rasgo mantém uma relação altamente positiva com a espessura da parede celular. Fibras de paredes espessas produzem papéis de alta resistência ao rasgo.

4.2.4. Relações entre as dimensões fundamentais das fibras

Atualmente, as relações entre as dimensões fundamentais das fibras tem sido reconhecidas como mais importantes, em certos casos, que as próprias dimensões tomadas isoladamente. Alguns índices foram criados e mostram-se de relativo valor na interpretação das qualidades da celulose.

4.2.4.1. Índice de enfeltramento

É definido como a relação entre o comprimento e a largura da fibra.

Há muito tempo que esta relação é citada na literatura como um dos parâmetros associados com a resistência do papel, mas carece ainda de maior suporte tal afirmativa. Alguns autores notaram que esta relação não tem apreciável efeito nas propriedades do papel. Outros argumentam que é uma propriedade que não possui amplo espectro de variação, porque normalmente fibras mais longas são também mais largas. Existem, entretanto, algumas referências na literatura que associam esta relação com as resistências ao rasgo e ao arrebentamento. De forma geral, não se pode porém esperar que esta re

lação forneça informações básicas sobre as propriedades da celulose.

4.2.4.2. Coeficiente de flexibilidade

É expresso pela relação entre o diâmetro do lúmen e a largura da fibra, em porcentagem.

Quanto maior esta relação mais flexível se torna a fibra e ocorre assim maior possibilidade de ligações inter-fibras na fabricação da folha de papel. Com isso, aumenta-se as resistências à tração e ao arrebentamento e diminui-se a resistência ao rasgo (esta última, em certas condições).

4.2.4.3. Fração parede

É a relação porcentual entre a espessura da parede celular e a metade da largura da fibra.

Em geral admite-se que quando a fração parede de um certo tipo de material fibroso é maior que 40%, este não fornecerá celulose de qualidade satisfatória. Isso porque as fibras serão extremamente rígidas, pouco flexíveis e haverá dificuldades na inter-ligação das mesmas. Esta relação mantém proporcionalidade positiva com a resistência ao rasgo e negativa com as resistências à tração, ao arrebentamento e com o peso específico aparente.

4.2.4.4. Índice de Runkel

É definido como a razão entre duas vezes a espessura da parede celular e o diâmetro do lúmen.

Runkel observou que as fibras de madeira, com o índice por ele desenvolvido menor que a unidade, produzem celuloses de boa qualidade, com boa capacidade de interligação. Quando este índice era maior que a unidade as madei

ras não eram satisfatórias para a produção de celulose de boa qualidade.

Inúmeras pesquisas mostraram que este índice guarda o mesmo tipo de relação com a qualidade da celulose que a espessura da parede celular e a fração parede.

4.3. Fatores físicos

4.3.1. Densidade da madeira

As variações na densidade da madeira afetam tanto o rendimento como a qualidade da celulose. Quando o rendimento é expresso em bases volumétricas (peso a.s. de celulose/volume de madeira), então a densidade da madeira é o mais importante fator para determinar o rendimento. O aumento da densidade da madeira promove aumento nos rendimentos bruto e depurado, teor de rejeitos e na resistência ao rasgo, enquanto diminui as resistências à tração e ao arrebentamento e o peso específico do papel.

Uma importante questão que se levanta é se todos os fatores que contribuem para elevar a densidade da madeira afetam as propriedades da celulose da mesma forma.

Outra consideração é o fato de muitas madeiras possuírem altos teores de extrativos, o que colabora para o aumento da sua densidade. Neste caso não há correspondência com o rendimento em celulose porque os extrativos são quase totalmente removidos pelo processo de conversão a celulose. A densidade obtida com base na madeira livre de extrativos é então mais indicada para correlacionar-se com o rendimento em celulose.

4.3.2. Relação lenho inicial/lenho tardio

Nas espécies que possuem acentuadas diferen

ças entre os lenhos inicial e tardio, a relação entre estes dois componentes do anel de crescimento afeta tanto o rendimento como a qualidade da celulose.

Há muito tempo que se reconhece que as celulosas obtidas dos lenhos inicial e tardio possuem diferentes propriedades. Sabe-se que a madeira do lenho tardio possui fibras com paredes mais espessas, maior densidade, maior teor de holocelulose e alfa-celulose e menor teor de lignina, em relação à madeira do lenho inicial. Estas características diferentes fazem com que a relação entre estes dois tipos de lenho seja importante na determinação das qualidades da celulose. Celulosas obtidas de madeira de lenho tardio mostram maior rendimento, alta resistência ao rasgo e baixas resistências à tração e ao arrebentamento, bem como peso específico aparente. As celulosas obtidas de madeira de lenho inicial mostram características opostas.

A relação ótima entre lenho inicial e lenho tardio depende do uso do produto final.

4.3.3. Teor de madeira juvenil

Há muito tempo se sabe que a madeira que é formada nos primeiros anos da vida da árvore é diferente daquela que é formada mais tarde. A primeira é denominada madeira juvenil e a última madeira adulta. As características das madeiras juvenil e adulta da mesma árvore diferem sensivelmente. Madeira juvenil possui fibras curtas e de paredes delgadas, baixa densidade, altos teores de lignina e de madeira de reação.

Atualmente, em razão da crescente demanda de madeiras, mais e mais ênfase tem-se dado à produção de celulose a partir da madeira juvenil. Uma grande quantidade deste tipo de madeira é normalmente disponível dos primeiros desbastes em florestas de pináceas. A qualidade da celulose obtida de madeira juvenil é bastante diferente daquela de madeira adulta. Suas principais características são: baixo rendimento,

altas resistências à tração e ao arrebentamento e baixa resistência ao rasgo.

4.3.4. Teor de madeira de reação

Madeira de reação, ou seja, madeira de compressão em coníferas e madeira de tensão em folhosas, é menos desejável que madeira normal para a fabricação de papel. Geralmente a presença destas madeiras anormais causam efeitos adversos no rendimento e resistência da celulose.

A madeira de compressão de coníferas, possuindo maior teor de lignina, requer cozimentos mais longos e apresenta dificuldades no branqueamento. A celulose apresenta sempre menor resistência que a normal.

A madeira de tensão de folhosas apresenta elevado teor de celulose e menores teores de lignina e pentosas. Esta madeira é mais facilmente digerida e produz celulose química fácil de se branquear, mas extremamente fraca. Ela produz, porém, celulose para dissolução de alta qualidade.

4.3.5. Teor de nós

A qualidade de nós presente na madeira exerce efeito negativo na qualidade da celulose. Geralmente estes nós são difíceis de digerir e permanecem na celulose como rejeitos. Há desta forma um consumo de reagentes químicos que foi desperdiçado nos nós. Em virtude de suas fibras anormais, a resistência da celulose é diminuída pela presença de nós na madeira.

4.4. Fatores inerentes à própria fibra

4.4.1. Ângulo micelar ou fibrilar

É o ângulo formado entre o eixo longitudinal da fibra e as microfibrilas de celulose da camada S_2 da rede secundária. Dentro de uma árvore, o ângulo micelar varia com o comprimento da fibra, sendo mínimo para as fibras mais longas. Em virtude desta correlação, o ângulo micelar é indicativo do comprimento da fibra e pode dar assim, alguma informação da parte da árvore de onde as fibras são originárias.

O ângulo micelar participa marcadamente na resistência da fibra individual. Existe uma relação bem definida entre ângulo micelar e resistência à tração da fibra: pequeno ângulo está correlacionado com alta resistência à tração. Uma relação inversa existe entre ângulo micelar e resistência ao dobramento: fibras de algodão com ângulo micelar bem aberto possuem resistência ao dobramento bem superior que fibras de rami, com ângulo muito pequeno.

4.4.2. Resistência da fibra individual

Evidentemente, constitui-se num problema bastante grande, a medição da resistência de cada fibra individualmente. Entretanto, já foi devidamente demonstrado que a resistência da fibra à tração na sua direção longitudinal contribui significativamente para as propriedades do papel. Atualmente admite-se que a resistência do papel depende da relação entre a resistência à tração das fibras individuais e a resistência ao cisalhamento das ligações inter-fibras. Uma quebra na folha de papel pode ser considerada como uma reação em cadeia, iniciada pela quebra da fibra ou ligação mais fraca. Esta quebra provoca uma distribuição adicional de forças nas fibras adjacentes, causando novas quebras, até que uma completa ruptura da folha tenha ocorrido.

4.4.3. Densidade da parede celular

Sabe-se que existem diferenças entre as densidades da parede celular para coníferas e folhosas. A influência desta característica nas propriedades da celulose não foi ainda bem investigada. Aparentemente, um aumento na densidade da parede celular tem mesmo efeito que um aumento na sua espessura.

4.5. Fatores químicos

Existem inúmeras evidências que as variações na composição química da madeira são menos importantes que as características morfológicas e físicas da madeira para se determinar a qualidade da celulose. Isto é particularmente aplicável às coníferas, onde a variação na composição química de suas madeiras não é considerável. Já no caso de folhosas, devido a grande variabilidade de espécies, os teores de polissacarídeos e lignina, além dos extrativos e cinzas, variam muito mais, a ponto de algumas vezes limitarem a utilização de uma determinada espécie para produção de celulose.

Além disso, a literatura mundial é incapaz de fornecer informações sobre os níveis ideais dos constituintes da madeira que produziriam celuloses de melhores qualidades.

4.5.1. Teor de lignina

A lignina é um constituinte considerado indesejável para a produção de celuloses químicas. Durante as operações de cozimento e branqueamento a finalidade é removê-la o mais possível sem causar apreciável dano às fibras. Além da quantidade de lignina presente na madeira é importante se conhecer a sua distribuição na parede celular. Normalmente as madeiras de folhosas possuem menor teor de lignina que as coníferas e numa forma mais acessível na parede celular, localizando-se em sua maior proporção mais externamente na fibra.

A lignina que permanece na celulose após as operações de conversão colabora para que a fibra se torne mais rígida, resultando quando em altos teores, em papéis de baixa resistência e alta opacidade.

4.5.2. Teor de celulose

A celulose é o principal constituinte da pasta e é ela que determina a maioria das propriedades da celulose e papel. Exerce influência na resistência da fibra individual, nas ligações entre fibras e associada com as hemiceluloses determina as características da pasta celulósica quer em termos de rendimento e de resistência.

4.5.3. Teor de hemiceluloses

As hemiceluloses que permanecem na pasta após a deslignificação formam um gel na superfície das fibras e em seus espaços interfibrilares. Isso torna a fibra mais flexível, já que este gel atua como um lubrificante.

Em virtude de suas qualidades desejáveis, a maior parte dos processos de obtenção de celuloses procura remover o mínimo possível de hemiceluloses.

4.5.4. Teor de extrativos

Os extrativos presentes na madeira são normalmente destruídos durante o processamento químico. Assim, altos teores de extrativos conduzem a baixos rendimentos em celulose. As quantidades de extrativos que permanecem na celulose são muito pequenas e seus efeitos na qualidade da celulose são insignificantes.

Existem, entretanto, certos tipos de extrativos em algumas pináceas que impedem a conversão destas madei

ras por processos ácidos. Outro efeito indesejável que certos extrativos causam é a redução da alvura de celuloses branqueadas.

4.5.5. Teor de cinzas

O efeito do material inorgânico presente na madeira sobre a qualidade do papel é muito pouco estudado. Parte dos sais são solubilizados durante a conversão e outra parte permanece na celulose podendo-se complexar com compostos orgânicos, originando compostos cromatóforos que prejudicam a alvura da celulose branqueada.

5 - ESTRUTURA ANATÔMICA DA MADEIRA DE EUCALIPTO

A madeira de eucalipto contém os seguintes elementos anatômicos principais: vasos, fibras libríformes e parênquimas axial e radial. As porcentagens de fibras, vasos e parênquima sobre o volume total de madeira é da ordem de 65:17:18%.

A densidade básica da madeira varia de 0,4 a 0,7 g/cm³ e geralmente as diferenças são mais devidas às proporções dos constituintes anatômicos que às propriedades físicas da fibra. Espessura da parede celular e teor de extrativos são também fatores que afetam esta densidade.

Dentro do gênero *Eucalyptus*, HILLIS (1972) sugere cautela no uso da densidade básica como critério de qualidade entre espécies devido às diferenças anatômicas que existem entre elas. O autor afirma ainda que dentro de uma única espécie a densidade básica é o mais importante parâmetro na avaliação da matéria-prima para produção de celulose.

5.1. Constituintes anatômicos

5.1.1. Fibras

O comprimento das fibras varia de 0,75 a 1,30 mm, mostrando-se a média próximo de 1 mm. O diâmetro das fibras também varia bastante e está geralmente entre 15 e 20 μ . Como em outros gêneros, há um gradual aumento do comprimento da fibra no sentido medula-casca, num corte transversal do tronco.

As mais importantes relações entre as dimensões das fibras parecem ser o índice de Runkel e a fração parede.

5.1.2. Vasos

São elementos estruturais bastante variados quanto ao número, forma e distribuição. O diâmetro dos vasos varia de 50 a 300 μ enquanto sua frequência está entre 5 e 100 vasos/mm² de seção transversal.

Número e diâmetro dos vasos exercem marcante influência na densidade da madeira e na qualidade superficial de papéis de impressão.

5.1.3. Parênquimas

A proporção dos parênquimas axial e radial pode variar consideravelmente. Sua importância está no fato de possuírem paredes delgadas e contribuírem para uma redução na densidade básica da madeira. Embora se reconheça o efeito destas células na elevação do grau de moagem, sabe-se que para o gênero e dentro de certos limites, elas não exercem influência na resistência das celuloses.

O parênquima radial pode aparecer na seção tangencial como uni, bi e tri-seriado. O número de células

que o compõem varia normalmente de 5 a 15.

O parênquima axial é relativamente abundante em muitas espécies e os tipos de distribuição mais comuns são aqueles em que as células se colocam ao redor dos vasos ou de forma difusa, distribuindo-se indiscriminadamente através da seção.

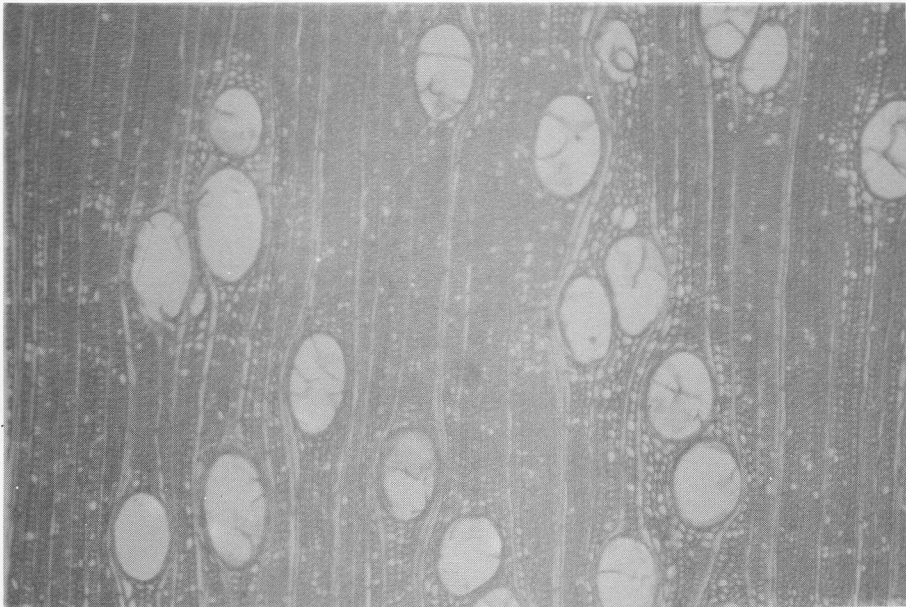
5.2. Tiloses

A presença de oclusões citoplasmáticas nos vasos, principalmente no cerne, conhecidas por tiloses, são importantes características que afetam a penetração do licor de cozimento. Existem amplas evidências que tiloses são comuns em quase todas as espécies de eucalipto.

5.3. Caracterização micrográfica da madeira de *Eucalyptus saligna*

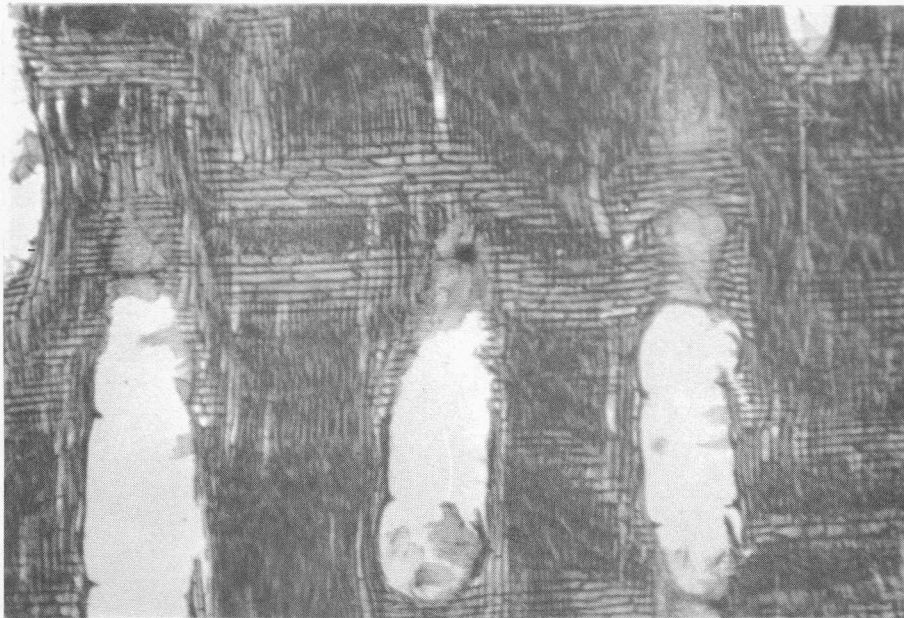
A seguir estão apresentadas microfotografias mostrando algumas das características microscópicas mais importantes da madeira de *E. saligna*, uma das espécies de uso mais corrente no Brasil.

INS. DE PESQUISAS
- EST. UNIV. CATÓLICAS
L. P. E. F.
Caixa Postal. 9 - ESALQ
Piracicaba - S. P.



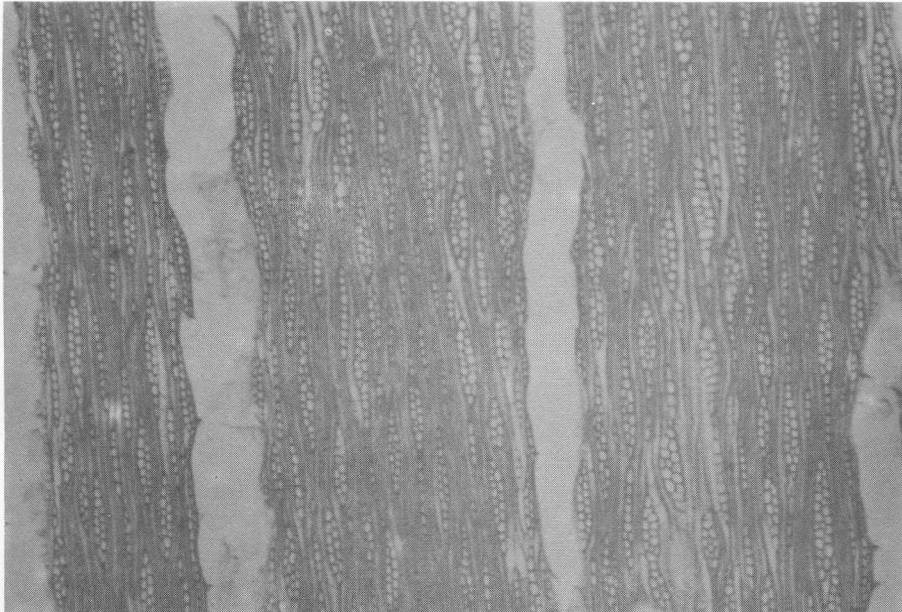
Aumento: 40 x

Figura 2: Microfotografia da seção transversal da madeira de *E. saligna*.



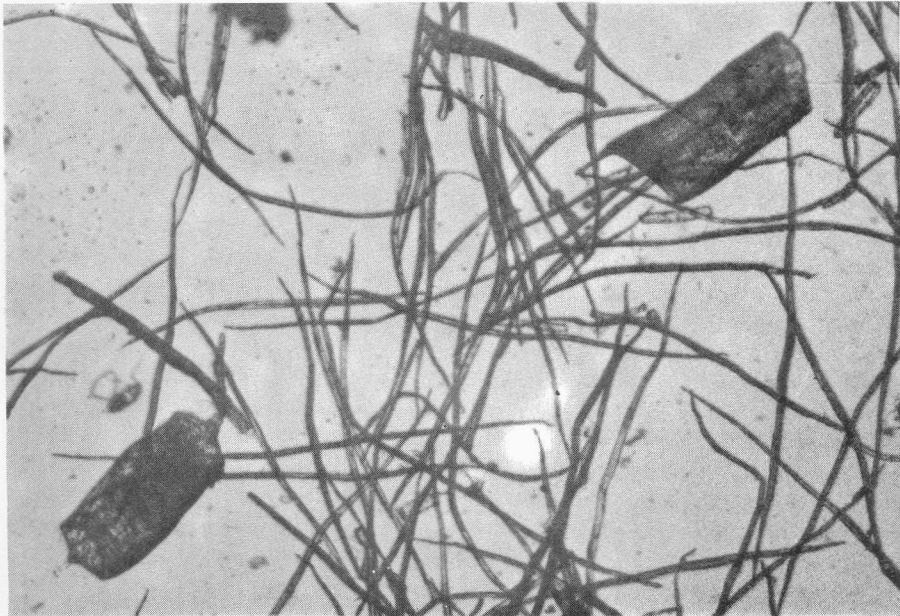
Aumento: 40 x

Figura 3: Microfotografia da seção radial da madeira de *E. saligna*.



Aumento: 40 x

Figura 4: Microfotografia da seção tangencial da madeira de *E. saligna*.



Aumento: 40 x

Figura 5: Microfotografia de material macerado de madeira de *E. saligna*, observando-se fibras libriformes e vasos.

De forma geral, os seguintes característicos principais são encontrados para *E. saligna*:

Seção transversal

a) Vasos

- Número médio por mm²: 5 a 10 .
- Disposição: irregular. Na maioria isolados, alguns pares e grupos de três ou mais.
- Forma: oval ou arredondada, ou com um dos lados achatado quando geminados.
- Diâmetros: entre 100 a 400 μ , média de 200 μ .

b) Fibras

- Forma na seção: muito irregular, algumas achatadas.
- Diâmetros: 10 a 30 μ .
- Espessura de duas paredes contíguas: 5 a 10 μ .
- Disposição: em séries radiais.

c) Parênquima radial

- Número por mm²: 8 a 14 .
- Trajeto: sinuoso.

d) Parênquima axial

- Disposição: em faixas abrangendo vasos.
- Diâmetros: 20 a 50 μ .

Seção longitudinal tangencial

a) Vasos

- Comprimento dos elementos: 600 a 1.000 μ .
- Septos: oblíquos.
- Pontuações: escalariformes, espiraladas.

b) Fibras

- Comprimento: 0,5 a 1,2 mm.

c) Parênquima radial

- Tipos: geralmente bi-seriados, havendo também uni e tri-seriados.
- Disposição: irregular.
- Dimensões das células: 20 a 60 μ .

d) Parênquima axial

- Disposição: em longos cordões agrupados junto ou próximo aos vasos.
- Forma das células: retangular e afilada.
- Dimensões das células: 60 a 180 μ .

6 - BIBLIOGRAFIA

- 1) BAREFOOT, A.C.; HITCHINGS, R.G. & ELLWOOD, E.L. - Tappi 47(6): 343-356, (1964).
- 2) BAREFOOT, A.C.; HITCHINGS, R.G. & ELLWOOD, E.L. - Tappi 49(4): 137-146, (1966).
- 3) BAREFOOT, A.C.; HITCHINGS, R.G.; ELLWOOD, E.L. & WILSON, E.H. - North Carolina Agricultural Experiment Station Tech. Bul. n^o 202, 88 pp, (1970).
- 4) BYRD, V.L.; ELLWOOD, E.L.; HITCHINGS, R.G. & BAREFOOT, A.C. - Forest Products Journal 15(8):313-320, (1965).
- 5) DADSWELL, H.E. & WARDROP, A.B. - Appita 13(5):161-173, (1960).
- 6) DINWOODIE, J.M. - Tappi 49(2):57-67, (1966).
- 7) FOELKEL, C.E.B.; DINIZ, A.S.; GARCIA, W. & FERREIRA, M. - "Estudo da influência da densidade da madeira nas propriedades das celuloses kraft de *Pinus elliottii* obtidas a uma mesma condição de cozimento". Série Divulgação e Pesquisa TP-C/20, ESALQ - USP, (1974).
- 8) FOELKEL, C.E.B. - Em "Unbleached kraft pulp properties of some of the Brazilian and U.S. pines". Tese de mestrado, SUNY College of Environmental Science and Forestry, 192 pp, (1973).
- 9) HILLIS, W.E. - Appita 26(2):113-122.
- 10) JAYME, G. - Tappi 41(11):178A-180A, (1958).
- 11) PANSHIN, A.J. & DE ZEEVW, C. - Em "Textbook of Wood Technology, vol. I". Mc Graw-Hill Book Co., 3a. ed., (1970).

- 12) PEREIRA, J.A. - Boletim nº 9 da Escola Politécnica de São Paulo, 165 pp, (1933).
- 13) SEABRA, L. - Fomento 1(2):3-21, (1963).
- 14) SUGDEN, E.A.N. - Pulp and Paper Magazine of Canada: T-273, T-279, (junho 1967).

ESTUDOS PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE SULFATO DE
SEIS ESPÉCIES DE EUCALIPTO

L.E.G. BARRICHELO (*)
C.E.B. FOELKEL (*)

1 - INTRODUÇÃO

O grande sucesso industrial alcançado com a produção de celulose sulfato a partir de madeira de algumas espécies do gênero *Eucalyptus* em São Paulo, Minas Gerais e Paraná tem motivado empresas de outras regiões a se interessarem pelo seu plantio em larga escala. Porém o emprego das espécies mais difundidas, quais sejam *E.saligna*, *E.alba* e *E.grandis*, tem encontrado certos problemas de adaptação em regiões muito frias e sujeitas a geadas ou em solos úmidos. Por outro lado estas espécies tem-se mostrado suscetíveis a uma doença causada por um fungo e denominada "cancro do tronco".

Isto posto, torna-se necessário o estudo de outras espécies adaptáveis a condições peculiares de clima e solo ou resistentes a doenças, para com isso aumentar a versatilidade do emprego do eucalipto para a obtenção de celulose. Entre estas espécies se destacam silviculturamente o *E.decaisneana*, *E.globulus*, *E.robusta* e *E.viminalis*.

O *E.decaisneana* é uma espécie recentemente introduzida no Brasil pelo Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF) sendo que os primeiros talhões experimentais tem mostrado um ritmo de desenvolvimento muito bom. Observou-se também um ótimo comportamento da espécie em regiões infestadas pelo fungo *Endothia* sp atacando o *E.saligna* e *E.grandis* e nas quais o *E.decaisneana* parece ser altamente resistente a doença.

Os *E.globulus* e *E.viminalis* tem-se mostrado como espécies promissoras principalmente no sul do país, dada suas maiores resistências ao frio.

(*) Departamento de Silvicultura - ESALQ

O *E. robusta* está apresentando rápido desenvolvimento em solos hidromórficos e com lençol freático superficial.

O presente trabalho tem como finalidade estudar as características da madeira e as propriedades da celulose obtida a partir de madeira das espécies citadas. Os resultados foram analisados em comparação com os obtidos para *E. saligna* e *E. grandis*, duas das espécies mais comumente utilizadas na produção de celulose sulfato de fibras curtas no Brasil.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. *Eucalyptus decaisneana*

Embora exista ampla literatura sobre produção de celulose de inúmeras espécies do gênero *Eucalyptus*, nada foi encontrado a respeito da utilização de *E. decaisneana* para este fim.

2.2. *Eucalyptus globulus*

Inúmeras referências sobre a produção de celulose a partir de *E. globulus* são encontradas na literatura mundial (1, 2, 3, 4, 5 e 6). Foi com a madeira de *E. globulus* que pela primeira vez se produziu celulose de eucalipto em escala industrial. Isso se deu em Portugal, em 1906, e a celulose foi produzida pelo processo sulfito (7). A partir de 1920, outros países aderiram ao uso desta madeira em substituição aos materiais fibrosos da época (coníferas, esparto, palhas, trapos, etc).

As boas qualidades das celulosas obtidas por diferentes processos (soda, sulfato, sulfito e sulfito neutro), tem sido intensivamente ressaltados por diversos autores (7, 8, 9, 14 e 15). Altos rendimentos e elevadas resistências ã

tração e ao arrebetamento, são características comuns para a espécie.

2.3. *Eucalyptus robusta*

O *E. robusta* é uma espécie cuja madeira tem sido pouco estudada para a produção de celulose. No Brasil, o número de árvores utilizadas para este fim é muito baixo e normalmente as fábricas de celulose usam-nas misturadas com madeiras de outras espécies. Isso contribui, em parte, para que as informações sobre as qualidades de sua celulose sejam reduzidas.

Dentre os países que utilizam madeira de *E. robusta* como matéria-prima para celulose, WATSON e COHEN (7), referem-se apenas ao Brasil e ao Congo. Sobre as qualidades do *E. robusta* congolês, PETROFF (10) afirma que a espécie é capaz de produzir celulose de satisfatória qualidade, comparável às obtidas de *E. saligna* e *E. citriodora*. Por outro lado, MARTINEZ e GOMES (14) ressaltam que a partir do *E. robusta* são obtidas celulosas sulfato de baixo rendimento e características mecânicas medianas, inferiores às do *E. globulus*.

Por suas boas qualidades silviculturais, a espécie vem ganhando atenção atualmente, no Brasil e em outras partes do mundo. No Congresso da IUFRO de 1973, por exemplo, FRANKLIN e MESKIMEN (11) apresentaram dados sobre um programa de melhoramento genético de *E. robusta* no sul da Flórida, EE.UU., visando a produção de madeira para celulose.

2.4. *Eucalyptus viminalis*

Algumas poucas referências podem ser encontradas em revistas especializadas australianas comentando ser a espécie utilizada para a produção de celulose naquele país (3 e 12). Outros países como África do Sul (13), Itália (7) e Espanha (9) também a utilizam, especialmente em regiões de

alta incidência de geadas ou de frio mais intenso. Entretanto, poucos trabalhos comentando propriedades de celuloses obtidas a partir dessa espécie foram encontradas na literatura, entre eles destacando-se os apresentados por MARTINEZ e GOMES (14) e QUEIROZ (15).

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material

O material de *Eucalyptus* spp utilizado constituiu-se de madeira obtida em povoamentos de diferentes idades e regiões, conforme mostrado no Quadro I.

QUADRO I: Idades e procedências das amostras de madeira de *Eucalyptus* spp

Espécie	Idade (anos)	Procedência
<i>E. saligna</i>	5	Mogi-Guaçū - SP
<i>E. grandis</i>	7	Mogi-Guaçū - SP
<i>E. decaisneana</i> (1)	1	Piracicaba - SP
<i>E. decaisneana</i> (3)	3	Piracicaba - SP
<i>E. globulus</i>	3,5	Salesópolis - SP
<i>E. robusta</i>	6,5	Mogi das Cruzes - SP
<i>E. viminalis</i>	11	Três Barras - SC

Cinco a dez árvores foram amostradas ao acaso para cada espécie. A seguir as árvores foram derrubadas, cortadas em toras, descascadas e reduzidas a cavacos. Para os casos específicos dos *E. decaisneana* (1), *E. globulus* e *E. robusta* os cavacos foram obtidos manualmente; os demais foram picados industrialmente.

3.2. Métodos

3.2.1. Amostragem

A amostragem para todos os ensaios realizados foi feita sobre os lotes de cavacos.

3.2.2. Determinação das densidades básicas das madeiras

Para esta determinação foi utilizado o Método do máximo teor de umidade (16).

3.2.3. Análises microscópicas das fibras das madeiras

Amostras representativas dos lotes de cavacos foram macerados pelo método nítrico-acético, preconizado por BARRICHELO e FOELKEL (17). A seguir foram preparadas lâminas para as medições das fibras tendo sido determinadas as seguintes dimensões: comprimento (C), largura (L), espessura das paredes (E) e diâmetro do lúmen (DL).

Procurou-se também determinar as principais relações entre estas dimensões, quais sejam:

- Índice de Runkel ($2.E/DL$)
- Fração parede $[(2E/L).100]$
- Coeficiente de flexibilidade $[(DL/L).100]$
- Índice de enfeltramento (C/L)

3.2.4. Análises químicas das madeiras

As determinações químicas quantitativas foram realizadas em duplicata e o resultado médio foi expresso

em porcentagem sobre o peso da madeira absolutamente seca.

As seguintes análises foram realizadas:

Ensaio	Método
Solubilidade em:	
— água quente	ABCP M4/68
— álcool-benzeno	ABCP M6/68
— NaOH 1%	ABCP M5/68
Teores de:	
— Celulose Cross & Bevan	ABCP M9/71
— Lignina	ABCP M10/71
— Pentosanas	TAPPI T 19 m - 50

ABCP - Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel.

TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry.

3.2.5. Produção de celulose

Foi empregado o processo sulfato utilizando-se digestor de 20 litros de capacidade, de aço inoxidável, rotatório e aquecido eletricamente. Para cada conjunto utilizou-se o equivalente a 500 gramas de madeira absolutamente secas.

O número e esquemas dos cozimentos são mostrados no Quadro II.

QUADRO II: Número e condições dos cozimentos

Espécie	Cozimento Nº	Alcali ativo (% Na ₂ O s/ matéria seca)	Temperatura máxima (°C)
<i>E. saligna</i>	I	13	165
<i>E. grandis</i>	I	13	170
<i>E. decaisneana</i> (1)	I	11,5	170
<i>E. decaisneana</i>	II	13	170
<i>E. decaisneana</i>	III	14,5	170
<i>E. decaisneana</i> (3)	I	11	165
<i>E. decaisneana</i>	II	13	165
<i>E. decaisneana</i>	III	15	165
<i>E. globulus</i>	I	13	170
<i>E. robusta</i>	I	11,5	170
<i>E. robusta</i>	II	13	170
<i>E. robusta</i>	III	14,5	170
<i>E. viminalis</i>	I	12	170
<i>E. viminalis</i>	II	14	170
<i>E. viminalis</i>	III	16	170

Variáveis pré-fixadas:

- Sulfidez 25%
- Atividade 100%
- Tempo até temperatura máxima 2 h
- Tempo a temperatura máxima 0,5 h
- Relação licor-madeira 4 litros:1 kg

As celuloses obtidas foram lavadas e depuradas. A seguir foram determinados os rendimentos brutos e depurados, teores de rejeito e números de permanganato.

3.2.6. Refinação e ensaios físico-mecânicos das celuloses

As celuloses foram refinadas em moinho Jokro a diversos tempos de moagem, incluindo o tempo "0 minutos". A consistência de refinação foi 6%. A seguir foram preparadas folhas de celuloses em formador e secador tipo Koethen Rapid.

Os ensaios físico-mecânicos foram realizados e calculados segundo a norma TAPPI T 220m - 60, após climatização em ambiente mantido à temperatura de $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $65 \pm 2\%$.

As seguintes propriedades das celuloses foram determinadas:

- tempo de moagem, em minutos.
- grau de moagem, expresso em graus Schopper-Riegler ($^{\circ}\text{SR}$).
- gramatura, expressa em gramas por metro quadrado (g/m^2).
- resistência à tração, expressa em comprimento de auto-ruptura (km).
- esticamento, expresso em porcentagem de alongamento.
- resistência ao arrebentamento, expresso pelo índice de arrebentamento.
- resistência ao rasgo, expresso pelo índice de rasgo.
- espessura, expressa em milímetros (mm).
- peso específico aparente, expresso em gramas por centímetro cúbico (g/cm^3).
- volume específico aparente, expresso em centímetros cúbicos por grama (cm^3/g).

4 - RESULTADOS

4.1. Densidade básica da madeira e dimensões das fibras

Estes resultados aparecem no Quadro III.

QUADRO III: Densidade básica e dimensões das fibras

Espécies	Densidade básica (g/cm ³)	Fibras			Diâmetro do lúmen (μ)
		Comprimento (mm)	Largura (μ)	Espessura pa- rede (μ)	
<i>E. saligna</i>	0,495	1,01	19,1	3,1	12,9
<i>E. grandis</i>	0,581	1,06	18,6	3,2	12,2
<i>E. decaisneana</i> (1 ano)	0,438	0,78	8,6	2,8	2,9
<i>E. decaisneana</i> (3 anos)	0,466	0,91	18,7	3,5	11,7
<i>E. globulus</i>	0,479	1,03	17,3	3,4	10,6
<i>E. robusta</i>	0,452	1,07	19,0	3,4	12,1
<i>E. viminalis</i>	0,512	1,13	16,8	3,4	10,1

As relações entre as dimensões das fibras são apresentadas no Quadro IV.

QUADRO IV: Relações entre as dimensões das fibras

Espécies	Índice de Runkel	Fração Parede	Coefficiente de flexibilidade	Índice de enfiletramento
<i>E. saligna</i>	0,481	32	68	53 : 1
<i>E. grandis</i>	0,525	34	66	57 : 1
<i>E. decaisneana</i> (1)	1,931	65	34	90 : 1
<i>E. decaisneana</i> (3)	0,598	37	62	49 : 1
<i>E. globulus</i>	0,641	39	61	60 : 1
<i>E. robusta</i>	0,561	36	64	56 : 1
<i>E. viminalis</i>	0,673	40	60	67 : 1

4.2. Análises químicas das madeiras

Os resultados das determinações químicas das madeiras constam no Quadro V.

QUADRO V: Composição química quantitativa das madeiras (%)

Espécies	Solubilidade em			Teores de			
	água quente	álcool benzeno	NaOH 1%	Celulose Cross & Bevan	Lignina	Pentosanas	
<i>E. saligna</i>	3,0	2,4	13,1	54,1	26,3	17,8	
<i>E. grandis</i>	3,2	2,6	13,7	55,0	26,2	17,3	
<i>E. decaisneana</i> (1 ano)	-	-	-	-	-	-	
<i>E. decaisneana</i> (3 anos)	1,9	1,4	17,7	52,7	23,6	18,9	
<i>E. globulus</i>	-	-	-	-	-	-	
<i>E. robusta</i>	-	-	-	-	-	-	
<i>E. viminalis</i>	3,8	1,6	12,2	52,4	23,2	17,3	

4.3. Rendimento, teores de rejeito e números de permanganato

Os resultados para estas determinações aparecem no Quadro VI.

QUADRO VI: Rendimentos, teores de rejeito e números de permanganato das celuloses

Espécies	Cozimen- to nº	Rendimento bruto (%)	Rendimento depurado (%)	Teor de re- jeitos (%)	Número de permanganato
<i>E. saligna</i>	I	50,2	49,1	1,1	15,2
<i>E. grandis</i>	I	49,6	48,1	1,5	14,4
<i>E. decaisneana</i> (1 ano)	I	46,7	35,2	11,5	25,4
<i>E. decaisneana</i>	II	43,1	37,1	6,0	21,2
<i>E. decaisneana</i>	III	38,2	36,2	2,0	13,4
<i>E. decaisneana</i> (3 anos)	I	54,3	44,1	10,2	30,8
<i>E. decaisneana</i>	II	48,9	48,0	0,9	15,5
<i>E. decaisneana</i>	III	47,7	47,4	0,3	13,2
<i>E. globulus</i>	I	55,3	43,5	11,8	20,1
<i>E. robusta</i>	I	50,2	42,1	8,1	26,7
<i>E. robusta</i>	II	49,8	46,2	3,6	22,0
<i>E. robusta</i>	III	48,2	45,5	2,7	14,8
<i>E. viminallis</i>	I	50,4	49,4	1,0	16,1
<i>E. viminallis</i>	II	48,9	48,7	0,2	12,1
<i>E. viminallis</i>	III	46,5	45,7	0,8	10,6

4.4. Propriedades das celulosas

Os resultados dos ensaios físico - mecânicos das celulosas são apresentados nos Quadros VII a XXI.

QUADRO VII: Propriedades físico-mecânicas da celulose de *Eucalyptus saligna*

Grau de moagem	17	25	29	40	53	70	83
Tempo de moagem	0	15	30	60	90	120	180
Gramatura	65	61,8	60,6	62,2	60,4	58,8	59,3
Comprimento de auto-ruptura	3,2	8,3	8,4	9,7	9,9	10,7	11,0
Esticamento	1,0	2,6	3,0	3,9	4,0	4,2	4,2
Índice de arrebentamento	11,4	50,5	57,9	66,1	74,0	73,8	70,4
Índice de rasgo	63	116	137	125	122	127	108
Espessura	.133	.103	.098	.093	.090	.085	.084
Peso específico aparente	.489	.598	.617	.669	.673	.693	.704
Volume específico aparente	2,04	1,67	1,62	1,49	1,48	1,44	1,42

QUADRO VIII: Propriedades físico-mecânicas da celulose de *Eucalyptus grandis*

Grau de moagem	14	22	25	33	45	61	77
Tempo de moagem	0	15	30	60	90	120	180
Gramatura	64,4	63,4	63	63	61,4	58,7	56,2
Comprimento de auto-ruptura	3,8	8,8	8,8	9,1	9,8	11,3	11,2
Esticamento	1,6	3,2	3,4	4	3,9	4,5	4,2
Índice de arrebentamento	9,8	40,4	50,5	57,1	62,4	73,4	83
Índice de rasgo	57	149	142	139	138	138	130
Espessura	.145	.111	.107	.102	.098	.093	.088
Peso específico aparente	.442	.572	.591	.616	.628	.631	.640
Volume específico aparente	2,26	1,75	1,69	1,62	1,59	1,58	1,56

QUADRO IX: Propriedades físico-mecânicas da celulose de *Eucalyptus decaisneana* com 1 ano (Cozimento I)

Grau de moagem	16	29	35	44	70	80
Tempo de moagem	0	20	40	60	90	120
Gramatura	65,1	64,6	63,6	64,7	63,9	63,3
Comprimento de auto-ruptura	2,5	7,0	7,4	8,4	8,8	9,0
Esticamento	0,2	2,8	3,4	4,0	4,6	4,6
Índice de arre-bentamento	7,4	49,2	52,7	55,2	64	68,2
Índice de rasgo	55	114	95	107	81	85
Espessura	.161	.107	.100	.097	.086	.085
Peso específico aparente	.404	.606	.631	.664	.745	.745
Volume específico aparente	2,48	1,65	1,58	1,51	1,34	1,34

QUADRO X: Propriedades físico-mecânicas da celulose de *Eucalyptus decaisneana* com 1 ano (Cozimento II)

Grau de moagem	16	27	31	39	56	66
Tempo de moagem	0	20	40	60	90	120
Gramatura	67,2	66	64	64,8	63,5	62,8
Comprimento de auto-ruptura	3,0	9	8,5	8,7	9,5	10,2
Esticamento	0,6	3,3	3,4	3,6	4,6	4,2
Índice de arre-bentamento	8,8	49,8	58,8	59,2	66,7	66,5
Índice de rasgo	57	106	114	128	121	113
Espessura	.153	.107	.101	.097	.087	.091
Peso específico aparente	.415	.581	.619	.640	.698	.675
Volume específico aparente	2,41	1,72	1,62	1,56	1,43	1,48

QUADRO XI: Propriedades físico-mecânicas da celulose de *Eucalyptus decaisneana* com 1 ano (Cozimento III)

Grau de moagem	17	29	33	40	53	67
Tempo de moagem	0	20	40	60	90	120
Gramatura	68,2	66,2	64,4	65	63,7	63
Comprimento de auto-ruptura	2,9	9,2	9,2	9,2	9,9	10,6
Esticamento	0,4	3,2	3,2	3,6	3,3	4
Índice de arre-bentamento	10,1	59,2	59	67,5	73	73,3
Índice de rasgo	49	108	100	111	111	123
Espessura	.160	.108	.100	.100	.095	.091
Peso específico aparente	.427	.615	.631	.649	.672	.694
Volume específico aparente	2,34	1,62	1,58	1,64	1,49	1,44

QUADRO XII: Propriedades físico-mecânicas de *Eucalyptus decaisneana* com 3 anos (Cozimento I)

Grau de moagem	11	23	33	44	56	70	79
Tempo de moagem	0	30	50	70	90	120	150
Gramatura	60,9	61,2	60,3	60,1	61,0	59,8	57,8
Comprimento de auto-ruptura	2,4	7,2	7,4	8,8	8,1	8,2	9,8
Esticamento	0,2	2,9	3,1	3,6	4,2	4,2	4,6
Índice de arrebitamento	3,5	45,1	57,7	57,9	61,2	64,7	68,5
Índice de rasgo	61	116	125	132	139	108	109
Espessura	.145	.099	.095	.092	.088	.085	.080
Peso específico aparente	.419	.619	.636	.652	.692	.703	.721
Volume específico aparente	2,39	1,62	1,57	1,53	1,44	1,42	1,39

QUADRO XIII: Propriedades físico-mecânicas da celulose de *Eucalyptus decaisneana* com 3 anos (Cozimento II)

Grau de moagem	14	22	31	39	53	68	82
Tempo de moagem	0	30	50	70	90	120	150
Gramatura	66,2	65,7	64,7	64,8	61	63,3	60,6
Comprimento de auto-ruptura	3,1	7,2	8	8,2	8,7	8,9	10,6
Esticamento	0,6	3	3,6	3,4	3,8	4	4,2
Índice de arrebatamento	8,5	48,6	53,6	59,1	62,4	65,1	69,3
Índice de rasgo	54	125	131	123	124	123	101
Espessura	.139	.100	.096	.093	.089	.084	.081
Peso específico aparente	.475	.657	.674	.698	.688	.755	.750
Volume específico aparente	2,1	1,52	1,48	1,43	1,45	1,32	1,33

QUADRO XIV: Propriedades físico-mecânicas da celulose de *Eucalyptus decaisneana* com 3 anos (Cozimento III)

Grau de moagem	14	24	29	37	42	47	70
Tempo de moagem	0	30	50	70	90	120	150
Gramatura	65	61,1	60,6	60,3	61,3	59	61,2
Comprimento de auto-ruptura	3	6,5	8,2	8,3	8,4	9,3	8,8
Esticamento	0,5	2,2	3,2	3,2	3,4	3,9	4,2
Índice de arrebentamento	9,5	38,6	46	54,1	56,8	61,4	66
Índice de rasgo	41	103	114	116	110	121	116
Espessura	.140	.099	.096	.094	.089	.087	.085
Peso específico aparente	.465	.618	.631	.644	.689	.680	.723
Volume específico aparente	2,15	1,62	1,58	1,55	1,45	1,47	1,38

QUADRO XV: Propriedades físico-mecânicas da celulose de *Eucalyptus globulus*

Grau de moagem	17	28	30	41	60	63	83
Tempo de moagem	0	20	40	60	90	120	180
Gramatura	64,8	64,8	62,1	61,6	61,2	59,1	59,5
Comprimento de auto-ruptura	5,4	10,7	10,5	10,5	11,6	11,3	11,5
Esticamento	2,5	4,4	4,8	5,1	5,2	5,5	5,2
Índice de arrebentamento	21,8	71,1	81	87	89,5	88,2	92,8
Índice de rasgo	85	123	129	113	111	110	101
Espessura	.130	.95	.92	.87	.84	.83	.77
Peso específico aparente	.500	.682	.676	.705	.730	.715	.776
Volume específico aparente	2	1,47	1,48	1,42	1,37	1,4	1,29

QUADRO XVI: Propriedades físico-mecânicas da celulose de *Eucalyptus robusta* (Cozimento I)

Grau de moagem	15	20	30	40	50
Tempo de moagem	2	17	54	68	80
Gramatura	62,2	62	61,8	60,3	60
Comprimento de auto-ruptura	3	5,3	7,3	8,4	9
Esticamento	0,6	1,8	2,8	3,2	3,4
Índice de arbentamento	15	46,5	62,5	69,5	76
Índice de rasgo	65	118	125	122	117
Espessura	.148	.115	.107	.096	.092
Peso específico aparente	.420	.540	.575	.630	.650
Volume específico aparente	2,38	1,85	1,74	1,59	1,54

QUADRO XVII: Propriedades físico-mecânicas da celulose de *Eucalyptus robusta* (Cozimento II)

Grau de moagem	15	20	30	40	50
Tempo de moagem	0	13	43	65	78
Gramatura	62	61,8	61,3	61,5	60,3
Comprimento de auto-ruptura	4	8,5	12	13,1	13,6
Esticamento	0,4	2,0	3,0	3,4	3,6
Índice de arrebentamento	10	36,5	61	69,5	76
Índice de rasgo	68	118	120	121	122
Espessura	.151	.108	.097	.092	.087
Peso específico aparente	.410	.570	.630	.665	.690
Volume específico aparente	2,44	1,75	1,59	1,50	1,45

QUADRO XVIII: Propriedades físico-mecânicas da celulose de *Eucalyptus robusta* (Cozimento III)

	15	20	30	40	50
Grau de moagem	15	20	30	40	50
Tempo de moagem	0	10	40	58	77
Gramatura	61,9	61,3	60,8	60,5	59,9
Comprimento de auto-ruptura	3,2	6,3	9,3	10,8	11,8
Esticamento	0,4	1,8	3,4	3,8	3,9
Índice de arrebentamento	12,5	42,0	69,5	76	80
Índice de rasgo	70	101	135	127	120
Espessura	.153	.114	.098	.092	.088
Peso específico aparente	.405	.535	.620	.655	.680
Volume específico aparente	2,47	1,87	1,61	1,53	1,47

QUADRO XIX: Propriedades físico-mecânicas da celulose de *Eucalyptus viminalis*
(Cozimento I)

Grau de moagem	15	28	33	36	44	60	78
Tempo de moagem	0	30	45	60	90	120	180
Gramatura	64,0	61,8	62,0	62,3	62,4	60,9	58,8
Comprimento de auto-ruptura	3,2	8,6	8,8	8,1	9,3	11,2	10,9
Esticamento	0,8	4,6	4,8	4,6	4,6	4,8	4,9
Índice de arre-bentamento	11,6	62,1	67,7	66,8	76,4	80,3	78,2
Índice de rasgo	68	114	114	115	109	106	112
Espessura	.141	.097	.093	.095	.090	.086	.079
Peso específico aparente	.454	.640	.667	.656	.692	.710	.746
Volume específico aparente	2,20	1,56	1,50	1,52	1,44	1,41	1,34

QUADRO XX: Propriedades físico-mecânicas da celulose de *Eucalyptus viminalis*
(Cozimento II)

Grau de moagem	16	26	30	33	45	55	78
Tempo de moagem	0	30	45	60	90	120	180
Gramatura	64,6	61,8	62,2	63,5	59,1	59,8	59,9
Comprimento de auto-ruptura	3,6	8,9	8,7	8,5	9,7	9,0	8,3
Esticamento	1,2	3,8	3,8	4,0	4,4	4,0	4,1
Índice de arre-bentamento	14,6	61,5	63,5	61,3	58,2	55,5	54,1
Índice de rasgo	58	141	110	109	116	103	102
Espessura	.138	.100	.096	.094	.090	.089	.081
Peso específico aparente	.469	.640	.648	.677	.655	.673	.736
Volume específico aparente	2,13	1,56	1,54	1,48	1,53	1,48	1,36

QUADRO XXI: Propriedades físico-mecânicas da celulose de *Eucalyptus viminalis*
(Cozimento III)

Grau de moagem	15	24	28	31	38	48	70
Tempo de moagem	0	30	45	60	90	120	180
Gramatura	62,9	62,8	61,4	63,2	62,0	59,7	60,3
Comprimento de auto-ruptura	3,4	6,9	7,5	7,7	7,8	8,4	9,5
Esticamento	0,9	3,4	3,6	4,0	3,8	4,0	4,5
Índice de arrebentamento	11,9	47,9	54,7	49,4	54,0	42,9	50,9
Índice de rasgo	60	108	116	102	117	124	107
Espessura	.141	.101	.099	.097	.095	.090	.086
Peso específico aparente	.446	.622	.619	.654	.655	.655	.701
Volume específico aparente	2,24	1,61	1,62	1,53	1,53	1,52	1,43

4 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

4.1. *Eucalyptus decaisneana* com 1 ano de idade

Os resultados apresentados fazem parte de um projeto em desenvolvimento com a finalidade de se estudar a evolução das características da madeira e as propriedades da celulose obtida em função da idade do povoamento florestal até o mesmo completar cerca de 20 anos.

Embora os resultados mostrem um baixo rendimento obtido, o que era de se esperar, as resistências físico mecânicas foram surpreendentemente elevadas, considerando-se a idade do material ensaiado.

4.2. *Eucalyptus decaisneana* com 3 anos de idade

Os resultados encontrados para rendimentos brutos e depurados foram razoáveis, mostrando-se suavemente inferiores aos obtidos para *E.saligna* e *E.grandis* a um grau de deslignificação próximo. É de se esperar que com o envelhecimento do povoamento esta pequena diferença desapareça.

Comparativamente com as celulosas dos eucaliptos tomados como referências, as celulosas de *E.decaisneana* mostraram:

- a) velocidades de refinação comparáveis à exceção da celulose do cozimento III, que foi mais lenta para refinação, apesar de seu menor teor de lignina residual.
- b) resistência à tração e ao arrebentamento ligeiramente inferiores.
- c) pesos específicos aparentes superiores.
- d) resistências ao rasgo inferiores no intervalo 30-40^oSR e similares em outros graus de moagem. Observou-se ainda um

modelo de variação da resistência ao rasgo em função do grau de moagem diferente do usualmente encontrado para celuloses sulfato de *E. saligna* e *E. grandis*. As celuloses de *E. decaisneana* não mostraram o pronunciado máximo de resistência por volta de 30°SR, apresentando contrariamente um patamar de suave declive a partir deste grau de moagem. Isto talvez seja o reflexo de uma maior capacidade de ligações entre fibras, propriedade comum às celuloses obtidas de madeiras jovens com fibras altamente flexíveis.

4.3. *Eucalyptus globulus*

Os resultados encontrados para rendimento bruto, resistência à tração, ao arrebentamento e esticamento podem ser considerados como excelentes, enquanto os de resistência ao rasgo foram razoáveis. O elevado teor de rejeitos que a celulose apresentou é provável resultado das maiores dimensões dos cavacos que foram obtidos manualmente a partir da madeira.

Comparativamente com as celuloses de *E. saligna* e *E. grandis*, a celulose de *E. globulus* mostrou superiores resistências à tração e ao arrebentamento e maiores esticamentos e pesos específicos aparentes. Isso poderia ser explicado pela baixa densidade da madeira desta espécie. Esta propriedade implicaria numa maior quantidade de fibras imaturas, mais flexíveis e portanto, capazes de fornecer melhores características de ligação na folha de papel. Comparativamente, o maior número de permanganato pode ser também responsável por estas melhores características (18). Inversamente ao efeito para a tração e arrebentamento, a densidade da madeira e o número de permanganato explicariam os menores valores para a resistência ao rasgo.

4.4. *Eucalyptus robusta*

Os resultados encontrados para rendimentos

em celulose para *E.robusta* mostraram-se inferiores aos obtidos para *E.saligna* e *E.grandis*. Ressalte-se ainda o fato da madeira apresentar uma densidade básica relativamente baixa.

Quanto às resistências físico-mecânicas, os resultados se mostraram comparáveis às celuloses obtidas de *E.saligna* e *E.grandis* com exceção da resistência ao rasgo que foi ligeiramente inferior. Observou-se também uma velocidade de refinação mais rápida para as celuloses de *E.robusta*.

4.5. *Eucalyptus viminalis*

Os resultados encontrados para rendimentos brutos e depurados foram muito bons e semelhantes àqueles obtidos para *E.saligna* e *E.grandis* a um grau de deslignificação aproximado. Os teores de rejeitos foram baixos, o que destaca a facilidade de cozimento da madeira.

Comparativamente com as celuloses de *E.saligna* e *E.grandis*, as celuloses de *E.viminalis* mostraram:

- a) velocidades de refinação similares à exceção da celulose do Cozimento III que foi mais lenta para refinação apesar de seu menor teor de lignina residual. Isso talvez se deva a uma reprecipitação mais intensa de hemiceluloses numa forma mais hidrofóbica, o que dificultou a refinação.
- b) resistências à tração e ao rasgo inferiores.
- c) maiores esticamentos e pesos específicos aparentes.
- d) resistências ao arrebentamento superiores a baixos graus de refinação, mas inferiores a partir de 40-50°SR, à exceção da celulose do Cozimento I, que foi sempre superior à de *E.saligna* e *E.grandis*.

5 - BIBLIOGRAFIA

- 1) CROMER, R.N. e M.W.HANSEN - Appita 26(3):187-190 (1972).
- 2) HILLIS, W.E. - Appita 26(2):113-122 (1972).
- 3) JEFFREYS, R.B. - The World's Paper Trade Review 142(22):
1825-1844; 142(23):1890-1896 (1954).
- 4) SANYER, N. - "Proceedings of the UNESCO/FAO Regional Symposium on Pulp and Paper Research and Technology in the Middle East and North Africa" - pp. 171-186.
- 5) BHAT, R.V. e M.G.KARNIK - Indian Pulp and Paper. October (1955).
- 6) -----, S.P.NARENDRA e U.L.SAKSENA - Research and Industry 3(10):265-266 (1958).
- 7) WATSON, A.J. e W.E.COHEN - Appita 22(4):26-32 (1969).
- 8) HIGGINS, H.G. - Appita 23(6):417-427 (1970).
- 9) BARBADILLO, P. - Appita 21(2):27-40 (1967).
- 10) PETROFF, G. - Revue Bois et Forêts des Tropiques 103:27-38 (1965).
- 11) FRANKLIN, E.C. e G.F.MESKIMEN - "Proceedings of the IUFRO Tropical Meeting - Kenya", 4 pp. (1973).
- 12) DADSWELL, H.E. e C.M.STEWARD - "CSIRO Division of Forest Products Technological Paper" nº 17 (1962).
- 13) MYBURGH, H.H. - Appita 21(2):49-53 (1967).
- 14) MARTINEZ, J.L.A. e P.B.GOMES - 1a. Convenção Anual da ABCP. Trabalho nº 10 (1968).

- 15) QUEIROZ, M.G. - O Papel XXXIII(3):51-55 (1972).
- 16) FOELKEL, C.E.B.; M.A.M.BRASIL e L.E.G.BARRICHELO - IPEF (2/3):65-74 (1971).
- 17) BARRICHELO, L.E.G. e C.E.B.FOELKEL - Processo Nítrico-Acētico para Maceração da Madeira (Revista "O PAPEL" - entregue para publicação).
- 18) FOELKEL, C.E.B. - "Unbleached Kraft Pulp Properties of Some of the Brazilian and U.S. Pines", 192 pp. (1973).

ESTUDO COMPARATIVO DAS MADEIRAS DE *EUCALYPTUS SALIGNA*,
E. PANICULATA, *E. CITRIODORA*, *E. MACULATA* E *E. TERETICORNIS*
PARA A PRODUÇÃO DE CELULOSE SULFATO (*)

CELSO E.B. FOELKEL (**)
LUIZ E.G. BARRICHELO (**)
AUGUSTO F. MILANEZ (***)

PIRACICABA - SP

- 1 9 7 5 -

- (*) *Trabalho realizado com a colaboração econômica das Florestas Rio Doce S.A.*
- (**) *Departamento de Silvicultura, ESALQ.*
- (***) *Acadêmico de Engenharia Florestal, ESALQ.*

ESTUDO COMPARATIVO DAS MADEIRAS DE *Eucalyptus saligna*,
E. paniculata, *E. citriodora*, *E. maculata* e *E. tereticornis*
PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE SULFATO^(*)

CELSO E.B. FOELKEL^(**)
LUIZ E.G. BARRICHELO^(**)
AUGUSTO F. MILANEZ^(***)

1 - INTRODUÇÃO

Atualmente, com a crescente demanda de madeira para a produção de celulose e com a importância cada vez maior que as madeiras de folhosas adquirem para este fim, o gênero *Eucalyptus* tem-se constituído numa das principais fontes mundiais de matéria-prima de fibras curtas. Entretanto, devido a grande diversidade de espécies existentes é difícil considerá-lo como fornecedor de uma madeira bem definida para a produção de celulose. Além disso, a facilidade de hibridação entre muitas espécies do gênero colabora para uma maior de suniformidade nas qualidades de suas madeiras. Estes, dentre outros fatores, obrigam aos pesquisadores em genética florestal e em tecnologia de celulose para papel, juntamente com técnicos industriais, a acurados estudos visando obter a maximização das características desejáveis para determinados fins.

Aproximadamente duas dezenas de espécies de *Eucalyptus* desenvolvem-se com alto vigor, produzindo madeira em ciclos curtos, em nosso país. Dentre as muitas utilizações destas madeiras destacam-se postes, mourões, dormentes, madeira serrada e celulose para papel. Para esta última finalidade entretanto, apenas duas espécies, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*, formam aproximadamente 80% da matéria-prima

(*) Trabalho realizado com a colaboração econômica das Florestas Rio Doce S.A.

(**) Departamento de Silvicultura, ESALQ.

(***) Acadêmico de Engenharia Florestal, ESALQ.

consumida pela indústria. Por outro lado, existem outras espécies, geralmente refugadas pela indústria de celulose, e que mostram ritmos de crescimento comparáveis a *E. saligna* e *E. grandis*, sendo mais adaptadas para certas regiões edafo-climáticas que as mesmas. Assim sendo, o presente trabalho teve como finalidade estudar as características das madeiras e propriedades das celuloses sulfato não branqueadas de algumas espécies de *Eucalyptus* em comparação com *E. saligna*, a saber: *E. paniculata*, *E. citriodora*, *E. maculata* e *E. tereticornis*.

2 - REVISÃO DA LITERATURA

2.1. O gênero *Eucalyptus*

O gênero *Eucalyptus*, descrito por L'Héritier, pertence à família das Mirtáceas e conta com cerca de seiscentas espécies, grande número de variedades e híbridos. Com exceção de umas poucas espécies, a grande maioria é originária da Austrália, onde formam densas e vastas florestas (1). Atualmente acha-se bastante disseminado por quase todas as regiões tropicais e sub-tropicais, encontrando condições extremamente propícias na região centro-sul do Brasil.

2.2. Produção de celulose de madeira de *Eucalyptus spp*

Todos os eucaliptos podem ser transformados em celulose pelos processos tradicionais e produzem celuloses de qualidades variáveis dependendo de inúmeros fatores inerentes ao próprio processo ou à qualidade da madeira (2). Frequentemente, árvores jovens são mais propícias para este fim que madeiras adultas da mesma espécie, as quais produzem celulose não tão satisfatórias (2).

2.2.1. Histórico

2.2.1.1. No mundo

A primeira referência relativa à utilização de madeira de *Eucalyptus* para produção de celulose provém de Portugal. Celulose sulfito foi obtida por D.E. Bergqvist, em 1906, a partir de *Eucalyptus globulus*. Entretanto, devido à competição com a celulose mais barata de esparto, somente em 1919-1920 é que se passou a produzir comercialmente celulose sulfito branqueada de eucalipto em Portugal, que era exportada para a Inglaterra.

É sabido também que pastas mecânicas de *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus camaldulensis* eram produzidas em escala comercial por volta de 1914-1918 na Espanha. Alguns estudos são relatados nesta mesma época na França (pela Escola Papeleira de Grenoble) e nos Estados Unidos (utilizando-se *E. globulus*, *E. cladocalyx* e *E. tereticornis*). As celuloses obtidas nos Estados Unidos foram pelos processos sulfato, soda e "hipo" (lixívia contendo NaOH e Na₂S₂O₃). *E. globulus* produziu celuloses de boas qualidades, *E. tereticornis* era menos satisfatório e *E. cladocalyx* conduziu a celulose de baixas qualidades.

Na Austrália, onde se localizavam as maiores áreas florestais com *Eucalyptus*, os problemas iniciais foram maiores que nos outros países. Isso se devia às florestas naturais mistas, com inúmeras espécies e com árvores a diferentes idades. Era difícil obter-se um material uniforme para pesquisas. As primeiras tentativas bem sucedidas foram realizadas por volta de 1914 com *E. globulus* e *E. regnans*. Em 1914-1915, um famoso engenheiro do Forest Products Laboratory (Madison, Wis, EE.UU.), conduziu experimentos com *E. regnans*, *E. globulus* e *E. obliqua* para produção de celulose soda. Os resultados obtidos pelo eminente pesquisador foram desencorajadores e supôs-se que não existia muito futuro para a indústria de celulose de eucalipto. O governo australiano, entretanto, enviando materiais para estudos na Noruega, Canadá e Carolina

do Norte (EE.UU.) recebeu respostas totalmente favoráveis à produção de celulose sulfato e soda de *E.dalrympleana* e *E.delegatensis*. A partir daí, investigações sistemáticas de inúmeras outras espécies passaram a ser realizadas e atualmente na Austrália pode-se encontrar informações sobre dezenas de espécies, ensaiadas pelos mais diferentes processos de obtenção de celulose. A produção comercial australiana repousa sobre as seguintes espécies: *E.regnans*, *E.obliqua*, *E.globulus*, *E.marginata*, *E.diversicolor*, *E.calophylla*, *E.delegatensis*, *E.eugenoides* e *E.sieberiana*, dentre outras.

A partir de 1940, houve um incremento maciço do uso de *Eucalyptus* em muitos países, tais como: Angola, Brasil, Chile, Congo, Índia, Itália, Marrocos e Portugal. O processo dominante é o sulfato, embora pastas semiquímicas (CSSC e NSSC) sejam também comuns. É importante mencionar-se ainda que relativos sucessos são obtidos pelos processos mecano-químicos e pré-hidrólise sulfato em alguns países.

Watson & Cohen (3) apresentaram interessante quadro histórico relativo a países produtores de celuloses de *Eucalyptus*, e que se encontra a seguir, adaptado pelos autores deste trabalho:

País	Principais espécies	Processos	Produção iniciada	
			Em laboratório	Comercialmente
África do Sul	<i>E. saligna</i> <i>E. grandis</i>	sulfato, sulfito NSSC, mecânico	1943	1944
Angola	<i>E. saligna</i>	sulfato	--	1962-1963
Austrália	vide texto	sulfato, sulfito, NSSC, soda e pasta mecânica	1914	1924
Brasil	<i>E. saligna</i> <i>E. grandis</i> <i>E. urophylla</i>	sulfato, NSSC, mecano-químico	1925-1927	1927
Chile	<i>E. globulus</i> <i>E. viminalis</i> <i>E. citriodora</i>	sulfato	--	--
Espanha	<i>E. globulus</i> <i>E. camaldulensis</i>	sulfito, bissulfito	1945-1950	1945-1950
India	<i>E. globulus</i> <i>E. grandis</i>	sulfato, soda, CSSC, mecânico	1942	1962
Israel	<i>E. camaldulensis</i>	sulfato, CSSC, mecânico	--	--
Italia	<i>E. camaldulensis</i> <i>E. trabuti</i> <i>E. botryoides</i> <i>E. viminalis</i> <i>E. saligna</i>	sulfato, NSSC, CSSC, bissulfito, mecânico	1954	1965-1966
Marrocos	<i>E. camaldulensis</i>	sulfato	--	--
Portugal	<i>E. globulus</i> <i>E. camaldulensis</i> <i>E. saligna</i>	sulfato, NSSC, préhidrolise sulfato	1900-1906	1906-1920

CSSC processo semi-químico soda a frio

NSSC processo semi-químico sulfito neutro

2.2.1.2. No Brasil

O Brasil foi um dos primeiros países a utilizar *Eucalyptus* para a produção de celulose e atualmente esta indústria tem se expandido enormemente.

Em 1925, a Companhia Paulista de Estradas de Ferro, responsável através do Dr. Edmundo Navarro de Andrade pela introdução dos eucaliptos no Brasil, enviou para o Forest Products Laboratory em Madison, Wisconsin, EE.UU., madeiras de *E. saligna* (15 anos) e *E. tereticornis* (13 anos) para experiências visando a produção de celulose. As celulosas foram obtidas pelos processos sulfato, soda, sulfito e mecânico. O processo mecânico mostrou-se não econômico devido o alto consumo de energia para a produção de pasta de baixa qualidade. Os processos alcalinos forneceram rendimentos satisfatórios para celulose branqueada (38 - 46%). Celulose sulfito de boa qualidade foi obtida de *E. saligna* enquanto aquela obtida de *E. tereticornis* era bem inferior.

Baseada nestes resultados, a firma Gordinho-Braune & Cia., em Jundiá-SP iniciou em 1927-1928 a fabricação de vários tipos de papel com celulose sulfito de *E. saligna* em mistura com celulosas importadas ou pasta mecânica de *Araucaria angustifolia*.

Depois do êxito alcançado por esta pequena firma, anos mais tarde, outras indústrias se dedicaram à fabricação de papel de *Eucalyptus*. Dentre as primeiras podem ser citadas: Indústrias Reunidas Francisco Matarazzo, Cia. Melhoramentos de São Paulo, Cia. Suzano de Papel e Celulose, Indústrias de Papel Simão, Champion Papel e Celulose S.A., Indústrias Klabin do Paraná de Celulose S.A., dentre outras. Atualmente inúmeras indústrias se dedicam à produção de celulosas sulfato, sulfito, sulfito neutro, soda a frio e pasta mecano-química de *Eucalyptus*. Por outro lado, muitas outras estão em fase de implantação para esta finalidade.

As espécies mais difundidas entre nós são *E. saligna*, *E. grandis* e *E. urophylla*, além de inúmeros híbridos.

Em escala muito menor, encontram-se *E.camaldulensis*, *E.robusta*, *E.globulus* e *E.tereticornis*. Estas espécies são normalmente preferidas por sua densidade média (0,400 - 0,600 g/cm³) e por sua cor clara. Os melhores resultados tem sido obtidos para povoamentos abatidos com 5 a 8 anos de idade.

2.2.2. Produção de celulose a partir de madeiras de *Eucalyptus* de alta densidade

Embora existam inúmeros estudos na utilização de madeiras de folhosas para produção de celuloses de qualidades aceitáveis, a seleção da matéria-prima é geralmente limitada a madeiras de baixa a média densidades. Entretanto, se se tornar possível obter celuloses de qualidade similares com folhosas mais densas, consideráveis progressos serão conseguidos nos campos da silvicultura, especialmente no manejo e produtividade florestal.

Madeiras densas normalmente estão associadas a fibras de paredes espessas, as quais vão se constituir num peso morto dentro da folha de papel já que existirão menos áreas de contato fibra-fibra e a ligação interfibra será menor. Assim, para a mesma superfície externa disponível para ligações, existirão menos ligações entre fibras por unidade de peso numa folha de papel obtida de fibras de paredes espessas que em outra obtida de fibras de paredes delgadas. Por outro lado, fibras de paredes espessas não são tão flexíveis, são mais rígidas quando secas e portanto, afetam inversamente a flexibilidade da estrutura da folha.

Dentro do gênero *Eucalyptus* existem amplas diferenças entre as espécies para a produção de celulose. Dentre estas diferenças destacam-se: espécie, idade, tamanho da árvore, qualidade silvicultural da árvore e qualidade da madeira. Basicamente, as principais causas determinantes do comportamento das madeiras de *Eucalyptus* na produção de celulose, são: densidade da madeira e teor de extrativos. Para processos químicos e semi-químicos o teor de extrativos influencia

particularmente o consumo de reagentes químicos e o rendimento em celulose. A densidade da madeira exerce sua maior influência nas propriedades estruturais e mecânicas do papel ou papelão.

Higgins (4) discutindo as possibilidades das madeiras densas de *Eucalyptus*, com fibras de paredes espessas, abordou os seguintes aspectos do uso destas madeiras para produção de papel:

- a) elas poderiam se constituir em matérias-primas para a indústria de papéis finos, para escrita e impressão, onde um alto grau de ligação inter-fibras não é importante e onde propriedades como opacidade e volume específico aparente assumem maior significância.
- b) podem ser usadas em misturas de celuloses colaborando para melhorar certas propriedades como rasgo, opacidade e volume específico aparente. Por outro lado, economizar-se-ia na moagem, pois celuloses com fibras rígidas e de paredes espessas requerem maior tempo de moagem para atingir adequadas resistências à tração e ao arrebentamento.
- c) os rendimentos em celulose por unidade de volume de madeira densa constituir-se-ão em um fator econômico de alta expressão.

Uma clara indicação das potencialidades de *Eucalyptus* de alta densidade foi dada por Cohen (5) em seu estudo das propriedades da celulose sulfato de *Eucalyptus hemiphloia*. Embora as melhores celuloses desta espécie ainda se mostrassem ligeiramente inferiores às celuloses obtidas de madeiras de média densidade, deve-se levar em conta que estas madeiras densas produzem celulose de excelente qualidade para papéis finos, produtos altamente valorizados atualmente. Neste particular Rydholm & Gedda (6) consideraram como limites mínimos para papéis finos para escrita e impressão, as seguintes resistências: índice de rasgo = 90; comprimento de auto-ruptura = 5 km. Estes valores podem ser facilmente obtidos com a maior parte das madeiras de eucaliptos, inclusive com as densas.

2.2.3. Celulose sulfato de *Eucalyptus saligna*, *E. paniculata*, *E. citriodora*, *E. maculata* e *E. tereticornis*

2.2.3.1. *Eucalyptus saligna*

É a espécie mais difundida entre nós para a fabricação de celulose de fibras curtas, e ainda, uma das espécies exóticas de *Eucalyptus* mais comum em inúmeros países. Entretanto, na Austrália, seu local de origem, não se apresenta como espécie comercial importante. Sua madeira tem sido bastante estudada quer em termos de suas características anatômicas, químicas e físicas, quer para a produção de celulose. Celuloses de excelentes qualidades foram obtidas por vários pesquisadores [Chittenden e colaboradores (7), Sanyer (8), Petroff (9), Barrichelo (10) e Pereira (11), dentre outros]. Além de sua alta viabilidade provada em estudos experimentais de laboratório, destacam-se os grandes sucessos alcançados industrialmente [Myburg (12) e Leon & Borges (13), dentre outros].

Alguns autores procuraram estudar a influência da idade dos povoamentos florestais desta espécie na qualidade da celulose. Neste particular, Mazzei & Overbeck (14), em estudo comparativo de madeiras de 5, 8, 10, 15 e 20 anos de idade, concluíram que a celulose sulfato de madeira de 5 anos apresentou melhores resultados gerais de resistência, quando não branqueada e principalmente quando branqueada. Pereira (11), ao estudar diversas espécies de *Eucalyptus* para produção de celulose sulfato incluiu entre seus tratamentos madeiras de *E. saligna* de 5 e 7 anos de idade. O autor observou que aos níveis de refinação de 30, 45 e 60°Sr a celulose obtida da madeira de 5 anos mostrava maior resistência à tração, ao arrebatamento, ao dobramento e maior peso específico aparente que todos os outros tratamentos, a saber *E. saligna*, 7 anos; *E. grandis*, 7 anos e *E. alba*, 5 e 7 anos. Com base nos resultados obtidos o autor concluiu que *E. saligna* deveria ser a espécie preferida para a produção de celulose sulfato branqueável, reco-

mendando estudos de práticas florestais, técnica e economicamente adequadas, que permitissem adotar uma rotação de 5 anos para sua melhor utilização industrial.

2.2.3.2. *Eucalyptus paniculata*

E.paniculata constitui-se numa espécie geralmente pouco utilizada para produção de celulose em virtude de sua madeira de densidade elevada. Esparsas referências se encontram sobre a utilização da espécie para este fim. Myburgh (12) cita que na África do Sul pequenas quantidades desta espécie entram em misturas com outras mais comuns na fabricação de celulose sulfato.

2.2.3.3. *Eucalyptus citriodora*

A madeira de *E.citriodora* tem sido normalmente refugada pelas indústrias de celulose sulfato em virtude da sua densidade elevada e de seu maior teor de extrativos. Em geral assume-se que esta madeira é de difícil redução a cavacos, exigindo maior consumo de energia e que sua celulose necessita de mais estágios no branqueamento para a obtenção de uma determinada alvura. Estudos paralelos a este trabalho estão sendo conduzidos no Departamento de Silvicultura da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo, a fim de verificar a branqueabilidade de celuloses sulfato desta espécie.

A literatura sobre esta espécie é bastante reduzida. Petroff (9), num estudo da aptidão para produção de celulose de algumas espécies exóticas de *Eucalyptus* do Congo Brazzaville, notou que, em particular, *E.saligna*, *E.robusta* e *E.citriodora* forneciam resultados bastante satisfatórios.

2.2.3.4. *Eucalyptus maculata*

Da mesma forma que *E.paniculata* é uma espê-

cie considerada de densidade elevada e muito pouco se encontra na literatura a seu respeito, a não ser esparsas citações sobre as características de sua madeira (15). Myburgh (12) admite também que pequenas quantidades desta madeira são utilizadas em misturas com outras para produção de celulose sulfato na África do Sul.

2.2.3.5. *Eucalyptus tereticornis*

É uma espécie relativamente bem estudada e algumas referências sobre a razoável para boa qualidade de suas celuloses sulfato podem ser encontradas na literatura [Sanyer (8); Petroff (16) e Preble (17) dentre outros].

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material

O material utilizado na experimentação foi obtido de árvores das espécies *Eucalyptus saligna*, de 8 e 13 anos; *E.paniculata*, de 6 e 10 anos; *E.citriodora*, de 7 e 13 anos; *E.maculata*, de 7 anos e *E.tereticornis*, de 7 anos. A madeira de *E.saligna* era oriunda de povoamentos pertencentes à Champion Papel e Celulose S.A., em Mogi Guaçu-SP, enquanto as de todas as outras espécies estudadas provinham de plantios localizados no Estado de Minas Gerais, pertencentes a diferentes empresas.

Na preparação do material as árvores foram abatidas, seccionadas em toras de aproximadamente 2 m de comprimento, descascadas e reduzidas a cavacos em picados industrial.

3.2. Métodos

3.2.1. Seleção dos povoamentos

Foram selecionados os talhões mais representativos no tocante ao desenvolvimento médio das espécies nas idades em estudo, para os locais em questão.

3.2.2. Escolha das árvores

Nos talhões escolhidos foram amostradas ao acaso 10 árvores por espécie e por idade.

3.2.3. Preparação do material e obtenção dos cavacos

As árvores selecionadas foram abatidas e seccionadas em toras de 2 m de comprimento a partir da base até um diâmetro mínimo de 8 cm. A seguir a madeira foi descascada e identificada e reduzida a cavacos em picador industrial. Posteriormente os cavacos foram colocados em tabuleiros de madeira, em condições ambientais, para sofrer secagem natural ao ar. A seguir os cavacos foram armazenados em sacos plásticos identificados.

3.2.4. Amostragem para ensaios

Todos os ensaios realizados neste trabalho foram realizados em amostras obtidas ao acaso em cada um dos lotes de cavacos.

3.2.5. Características das madeiras

Ensaio s físicos e anatômicos e análises químicas

micas das madeiras foram realizados a fim de comparar as características de todas as madeiras estudadas. De cada uma das oito madeiras amostradas, uma representativa sub-amostra foi tomada e nesta todos os testes citados neste item foram realizados.

3.2.5.1. Morfologia das fibras das madeiras

As correlações entre as propriedades anatómicas das fibras lenhosas e as resistências das celuloses correspondentes tem sido objeto de inúmeras pesquisas na última década. Em virtude disso, as seguintes dimensões das fibras foram determinadas neste trabalho:

- comprimento da fibra CF
- largura da fibra LF
- diâmetro do lúmen DL
- espessura da parede celular EPC

Recentemente, maior ênfase tem sido colocada em medições mais sofisticadas, expressas como relações entre estas dimensões fundamentais. O cálculo de algumas destas relações poderia colaborar na explicação dos resultados obtidos para resistência das celuloses e, também, tornar possível uma melhor identificação destas madeiras.

As seguintes relações entre dimensões das fibras, consideradas importantes para a produção de celulose para papel, foram calculadas:

- Índice de enfretamento (IE): relação entre comprimento e largura da fibra

$$IE = \frac{CF}{LF}$$

- coeficiente de flexibilidade (CFI): relação entre diâmetro do lúmen e largura da fibra, expressa em porcentagem

$$CFI = \frac{DL}{LF} \times 100$$

- fração parede (FP): relação entre a espessura da parede celular e o raio da fibra, expressa em porcentagem

$$FP = \frac{EPC}{\frac{LF}{2}} \times 100$$

- relação comprimento da fibra e espessura da parede celular (C/E):

$$C/E = \frac{CF}{EPC}$$

- índice de Runkel (IR): relação entre duas vezes a espessura da parede celular e o diâmetro do lúmen

$$IR = \frac{2 \cdot EPC}{DL}$$

Dos cavacos amostrados para esta finalidade, pequenos fragmentos de madeira foram obtidos e macerados em solução constituída de 5 partes de ácido acético glacial e 1 parte de ácido nítrico concentrado. Os tubos de ensaio contendo a madeira e a solução macerante foram aquecidos em banho-maria a 90°C até que a maceração se completasse. Dez lâminas foram preparadas por amostra, obtendo-se a coloração do material com safranina. As dimensões de 10 fibras por lâmina, num total de 100 fibras por tipo de madeira, foram microscopicamente determinadas.

3.2.5.2. Densidade básica das madeiras

A densidade básica da madeira foi determinada utilizando-se o método do máximo teor de umidade, conforme Foelkel e colaboradores (18).

3.2.5.3. Análises químicas das madeiras

As análises químicas foram realizadas em duplicata e o resultado médio foi expresso como porcentagem do peso da madeira absolutamente seca. As seguintes determinações químicas foram processadas nas madeiras:

QUADRO 1: Análises químicas processadas nas madeiras e respectivos métodos adotados.

Análise química	Método
Solubilidade em	
— água quente	TAPPI T _{1m-59}
— NaOH 1%	TAPPI T _{4m-59}
— álcool-benzeno	TAPPI T _{6m-59}
Teor de	
— celulose Cross e Bevan	ABCP M 9/71
— lignina	ABCP M 10/71
— pentosanas	TAPPI T _{10m-50}
— cinzas	ASTM D 1102-56

- TAPPI / Technical Association of the Pulp and Paper Industry.
- ABCP / Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel.
- ASTM / American Society for Testing and Materials.

3.2.6. Produção de celulose

3.2.6.1. Processo

Foi utilizado o processo químico sulfato.

3.2.6.2. Condições de cozimento

Com a finalidade de se obter celulose economicamente branqueável e de se permitir uma comparação rigorosa entre os tratamentos estudados, procurou-se trabalhar com celulosas a graus de deslignificação semelhantes. Assim é que se convencionou obter celulosas com números de permanganato no intervalo $16,0 \pm 1,0$.

As condições de cozimento para o estabelecimento da condição acima mencionada variaram ligeiramente para algumas das madeiras. Quando houve necessidade de se alterarem as condições de deslignificação, a única variável foi a porcentagem de álcali ativo.

As seguintes condições de cozimento foram adotadas:

QUADRO 2: Condições dos cozimentos.

Condição	Madeira	<i>E. citriodora</i> 7 anos	<i>E. maculata</i> 7 anos	<i>E. saligna</i> 13 anos	dema <u>is</u> tra- tamentos
Álcali ativo (%)		13,25	13,5	14,0	13,0
Sulfidez (%)		25	25	25	25
Temperatura máxima (°C)		170	170	170	170
Tempo até temperatura máxima (hrs)		2,0	2,0	2,0	2,0
Tempo à temperatura máxima (hrs)		0,5	0,5	0,5	0,5
Relação licor/madeira		4:1	4:1	4:1	4:1
Concentração inicial de Na ₂ O ativo (g/l)		33,12	33,75	35,00	32,50

3.2.6.3. Cozimentos

Os cozimentos foram realizados em digestor de aço inoxidável, rotativo (2-3 rpm), de 20 litros de capacidade, aquecido eletricamente e dotado de termômetro e manômetro.

O equivalente a 600 gramas de madeira absolutamente seca foi digerida por cozimento. Foram realizados 3 cozimentos para cada tipo de madeira, num total de 24 cozimentos.

3.2.6.4. Lavagem e depuração

As celulosas obtidas eram a seguir lavadas e depuradas em classificador de fibras BH 6/12 tipo Brecht & Holl, com peneira de fendas 0,2 mm.

3.2.6.5. Determinação de rendimentos em celulose e teores de rejeitos

As celulosas após lavagem e depuração eram cuidadosamente pesadas e a seguir retiravam-se amostras para a determinação de seus por cento absolutamente secos. Conhecidos estes dados era possível se determinar o rendimento depurado das mesmas. Por outro lado, os rejeitos retidos na peneira de fendas 0,2 mm eram secos em estufa a $105^{\circ} \pm 3^{\circ}\text{C}$ e determinava-se o teor de rejeitos. O rendimento bruto era calculado pela adição dos valores encontrados para rendimento depurado e teor de rejeitos.

3.2.6.6. Determinação do número de permanganato

Esta determinação foi feita de acordo com o método TAPPI T_{214m-50}.

3.2.7. Preparo das amostras para testes físico-mecânicos

3.2.7.1. Refinação

A refinação da celulose foi feita em moinho Jokro Muhle, utilizando-se 16 gramas a.s. por panela, à consistência de 6%. A refinação foi conduzida a 7 tempos de moagem, inclusive o tempo zero minutos. O grau de refinação obtido para cada amostra foi expresso em termos de grau Schopper Riegler ($^{\circ}$ SR).

3.2.7.2. Formação das folhas para testes

A formação de folhas deu-se em Formador de Folhas FS S/2, tipo Koethen Rapid, de dois secadores. Foram confeccionadas 7 folhas por tempo de moagem, num total de 1.176 folhas para o experimento.

3.2.7.3. Acondicionamento

Com a finalidade de evitar os efeitos das variações ambientais sobre os resultados dos ensaios físico-mecânicos, as folhas destinadas aos testes foram acondicionadas em ambiente climatizado à temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $65\% \pm 2\%$.

3.2.8. Ensaio físico-mecânico

Os seguintes ensaios físico-mecânicos foram realizados e calculados segundo o método TAPPI T_{220m-60}:

- gramatura: expressa em gramas por metro quadrado.
- resistência à tração: expressa pelo comprimento de auto-ruptura, em quilômetros.

- esticamento: expresso em porcentagem de alongamento.
- resistência ao arrebentamento: expressa pelo índice de arrebentamento.
- resistência ao rasgo: expressa pelo índice de rasgo.
- espessura: expressa em microns.
- peso específico aparente: expresso em gramas por centímetro cúbico.

3.2.9. Análise estatística dos resultados

Os resultados obtidos para as propriedades das celulosas foram estatisticamente interpretados. O esquema experimental adotado foi o de inteira casualização, com 3 repetições por tratamento. Alguns dos resultados, que eram expressos em porcentagem, não sofreram nenhuma transformação em virtude de seguirem distribuições normais conforme o preconizado por Clark & Leonard (19). O nível de significância de 5% foi considerado satisfatório para os propósitos do experimento.

Os seguintes testes estatísticos foram aplicados aos resultados:

- teste F: teste para a significância de diferenças entre os efeitos dos tratamentos.
- teste Tukey: teste para comparações entre pares de médias.

A variabilidade dos dados foi também calculada e expressa pelo coeficiente de variação.

As seguintes convenções aparecem no transcorrer da apresentação dos resultados, e o significado é o que se segue:

- s = estatisticamente significativa ao nível de 5% de probabilidades.
- ns = estatisticamente não significativa ao nível de 5% de probabilidades.

A análise da variância obedeceu ao esquema dado no Quadro 3.

QUADRO 3: Esquema da análise da variância de uma dada propriedade das celuloses.

Causa de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F
Tratamento	7	QM ₁	QM ₁ /QM ₂
Resíduo	16	QM ₂	
Total	23		

Os tratamentos estudados foram os seguintes:

- T₁ : *Eucalyptus saligna*, 8 anos
- T₂ : *Eucalyptus saligna*, 13 anos
- T₃ : *Eucalyptus paniculata*, 6 anos
- T₄ : *Eucalyptus paniculata*, 10 anos
- T₅ : *Eucalyptus citriodora*, 7 anos
- T₆ : *Eucalyptus citriodora*, 13 anos
- T₇ : *Eucalyptus maculata*, 7 anos
- T₈ : *Eucalyptus tereticornis*, 7 anos

4 - RESULTADOS

4.1. Dimensões das fibras das madeiras

As dimensões médias das fibras das madeiras aparecem no Quadro 4.

QUADRO 4: Dimensões médias das fibras das madeiras.

Dimensao Espécie	Comprimento (mm)	Largura (μ)	Diâmetro do lúmen (μ)	Espessura da pa- rede celular (μ)
<i>E. saligna</i> (8 anos)	0,759	15,77	6,55	4,61
<i>E. saligna</i> (13 anos)	0,945	18,44	8,00	5,22
<i>E. paniculata</i> (6 anos)	0,871	16,72	4,68	6,02
<i>E. paniculata</i> (10 anos)	0,938	16,94	4,61	6,16
<i>E. citriodora</i> (7 anos)	0,915	15,50	4,75	5,37
<i>E. citriodora</i> (13 anos)	0,943	15,89	4,41	5,74
<i>E. maculata</i> (7 anos)	0,885	17,15	8,13	4,51
<i>E. tereticornis</i> (7 anos)	0,828	14,80	6,33	4,23

4.2. Relações entre as dimensões das fibras

Os resultados obtidos para as mais importantes relações entre as dimensões das fibras constam do Quadro 5.

QUADRO 5: Principais relações entre as dimensões das fibras.

Relação Espécie	Índice de enfeltra- mento	Coefficien- te de fle- xibilidade (%)	Fração parede (%)	Relação comprimen- to/espessu- ra da parede	Índice de Runkel
<i>E. saligna</i> (8 anos)	48	42	58	165	1,40
<i>E. saligna</i> (13 anos)	51	43	57	181	1,30
<i>E. paniculata</i> (6 anos)	52	28	72	145	2,57
<i>E. paniculata</i> (10 anos)	55	27	73	152	2,67
<i>E. citriodora</i> (7 anos)	59	31	69	170	2,26
<i>E. citriodora</i> (13 anos)	59	28	72	164	2,60
<i>E. maculata</i> (7 anos)	52	47	52	196	1,10
<i>E. tereticornis</i> (7 anos)	56	43	57	196	1,33

4.3. Densidade básica das madeiras

Foram observados os seguintes resultados para a densidade básica média das madeiras estudadas:

QUADRO 6: Densidade básica das madeiras (g/cm³).

Espécie	Densidade básica
<i>E. saligna</i> (8 anos)	0,530
<i>E. saligna</i> (13 anos)	0,610
<i>E. paniculata</i> (6 anos)	0,680
<i>E. paniculata</i> (10 anos)	0,721
<i>E. citriodora</i> (7 anos)	0,637
<i>E. citriodora</i> (13 anos)	0,738
<i>E. maculata</i> (7 anos)	0,647
<i>E. tereticornis</i> (7 anos)	0,512

4.4. Composição química quantitativa das madeiras

Os resultados para as análises químicas das madeiras estão apresentados no Quadro 7.

QUADRO 7: Composição química quantitativa das madeiras (%).

Esécie Análise química	<i>E. saligna</i> (8 anos)	<i>E. saligna</i> (13 anos)	<i>E. paniculata</i> (6 anos)	<i>E. paniculata</i> (10 anos)	<i>E. citriodora</i> (7 anos)	<i>E. citriodora</i> (13 anos)	<i>E. maculata</i> (7 anos)	<i>E. tereticor- nis</i> (7 anos)
Solubilidade em:								
- água quente	4,71	7,42	4,34	5,52	4,09	4,48	4,57	5,05
- NaOH 1%	17,76	20,77	15,43	16,11	16,89	19,32	19,92	17,23
- álcool/ben- zeno	1,57	1,67	0,95	1,32	2,86	2,68	2,07	0,56
Teor de:								
- celulose Cross & Bevan	61,52	57,36	62,98	58,44	61,45	56,72	58,82	60,22
- lignina	18,66	21,60	17,76	26,48	15,30	17,75	17,53	22,82
- pentosanas	18,75	16,85	24,95	19,62	23,53	18,12	24,73	19,25
- cinzas	0,30	0,22	0,38	0,64	0,21	0,34	0,48	0,30

4.5. Propriedades das celuloses

Tendo em vista o grande número de dados obtidos durante a realização deste trabalho, neste ítem serão apresentados tão somente as médias dos tratamentos e as significâncias de contrastes entre pares de médias. Os quadros contendo todos os resultados encontrados estão apresentados nos Apêndices A, B e C.

4.5.1. Rendimentos em celulose

Os resultados para rendimentos brutos e depurados, teores de rejeitos e correspondentes números de permanganato aparecem nos Quadros A-1 a A-4, no Apêndice A.

Os valores médios encontrados para estas propriedades e a significância entre contrastes entre pares de médias de tratamento são relatados a seguir. Foi anotado o seguinte critério para indicar quais os contrastes significativos: as médias dos tratamentos foram ordenadas de forma decrescente e à direita dos resultados foram colocadas uma ou mais barras verticais, sendo que os tratamentos compreendidos por cada barra não são significativos entre si ao nível de 5% de probabilidades. Assim, por exemplo, não foi constatado nenhum contraste significativo para rendimento bruto e apenas um para rendimento depurado.

— Rendimento bruto (%):

	Média
<i>E. paniculata</i> (10 anos)	51,7
<i>E. saligna</i> (8 anos)	50,3
<i>E. citriodora</i> (7 anos)	49,2
<i>E. maculata</i> (7 anos)	48,7
<i>E. citriodora</i> (13 anos)	47,8
<i>E. paniculata</i> (6 anos)	47,1
<i>E. saligna</i> (13 anos)	46,5
<i>E. tereticornis</i> (7 anos)	46,2

— Rendimento depurado (%):

	Média	
<i>E. paniculata</i> (10 anos)	49,6	
<i>E. saligna</i> (8 anos)	46,6	
<i>E. maculata</i> (7 anos)	45,0	
<i>E. citriodora</i> (13 anos)	44,6	
<i>E. saligna</i> (13 anos)	44,5	
<i>E. citriodora</i> (7 anos)	44,5	
<i>E. paniculata</i> (6 anos)	44,3	
<i>E. tereticornis</i> (7 anos)	44,1	

— Teor de rejeitos (%):

	Média	
<i>E. citriodora</i> (7 anos)	4,8	
<i>E. maculata</i> (7 anos)	3,7	
<i>E. saligna</i> (8 anos)	3,7	
<i>E. citriodora</i> (13 anos)	3,2	
<i>E. paniculata</i> (6 anos)	2,9	
<i>E. paniculata</i> (10 anos)	2,1	
<i>E. tereticornis</i> (7 anos)	2,1	

4.5.2. Propriedades físico-mecânicas das celulosas

Os resultados para as propriedades físico-mecânicas das celulosas encontram-se apresentados nos Quadros B-1 a B-24, no Apêndice B. A seguir, as propriedades em estudo foram graficamente relacionadas com o grau de moagem das celulosas e interpolaram-se os valores das mesmas para 30, 45 e 60°SR. Os valores obtidos para tempo de moagem, comprimento de auto-ruptura, índice de arrebetamento, índice de rasgo e peso específico aparente a 30, 45 e 60°SR aparecem nos Quadros C-1 a C-15, no Apêndice C.

Da mesma forma que para os rendimentos em celulose, neste ítem serão relacionadas apenas as médias dos tratamentos e a significância entre contrastes de pares de médias, segundo a convenção adotada anteriormente.

— Tempo de moagem necessário para atingir 30°SR

	Média	
<i>E. citriodora</i> (7 anos)	35,0	
<i>E. maculata</i> (7 anos)	30,0	
<i>E. saligna</i> (8 anos)	30,0	
<i>E. saligna</i> (13 anos)	28,3	
<i>E. paniculata</i> (6 anos)	26,7	
<i>E. paniculata</i> (10 anos)	25,7	
<i>E. citriodora</i> (13 anos)	25,7	
<i>E. tereticornis</i> (7 anos)	25,7	

— Tempo de moagem necessário para atingir 45°SR

	Média
<i>E. citriodora</i> (7 anos)	59,7
<i>E. maculata</i> (7 anos)	37,7
<i>E. saligna</i> (13 anos)	37,3
<i>E. saligna</i> (8 anos)	37,0
<i>E. paniculata</i> (6 anos)	36,3
<i>E. paniculata</i> (10 anos)	33,0
<i>E. citriodora</i> (13 anos)	32,7
<i>E. tereticornis</i> (7 anos)	31,0

— Tempo de moagem necessário para atingir 60°SR

	Média
<i>E. citriodora</i> (7 anos)	77,0
<i>E. saligna</i> (13 anos)	53,3
<i>E. saligna</i> (8 anos)	50,7
<i>E. maculata</i> (7 anos)	47,0
<i>E. paniculata</i> (6 anos)	46,7
<i>E. citriodora</i> (13 anos)	41,7
<i>E. tereticornis</i> (7 anos)	40,0
<i>E. paniculata</i> (10 anos)	39,7

— Comprimento de auto-ruptura a 30°SR

	Média	
<i>E. saligna</i> (8 anos)	8,8	
<i>E. citriodora</i> (13 anos)	7,7	
<i>E. tereticornis</i> (7 anos)	7,7	
<i>E. paniculata</i> (6 anos)	7,2	
<i>E. citriodora</i> (7 anos)	7,2	
<i>E. saligna</i> (13 anos)	7,1	
<i>E. maculata</i> (7 anos)	7,0	
<i>E. paniculata</i> (10 anos)	6,6	

— Comprimento de auto-ruptura a 45°SR

	Média	
<i>E. saligna</i> (8 anos)	10,1	
<i>E. tereticornis</i> (7 anos)	8,8	
<i>E. maculata</i> (7 anos)	8,6	
<i>E. citriodora</i> (13 anos)	8,4	
<i>E. citriodora</i> (7 anos)	8,3	
<i>E. paniculata</i> (6 anos)	8,0	
<i>E. saligna</i> (13 anos)	7,9	
<i>E. paniculata</i> (10 anos)	7,7	

— Comprimento de auto-ruptura a 60°SR

	Média	
<i>E. saligna</i> (8 anos)	10,3	
<i>E. tereticornis</i> (7 anos)	9,8	
<i>E. maculata</i> (7 anos)	9,5	
<i>E. citriodora</i> (7 anos)	9,0	
<i>E. citriodora</i> (13 anos)	8,7	
<i>E. paniculata</i> (6 anos)	8,5	
<i>E. saligna</i> (13 anos)	8,4	
<i>E. paniculata</i> (10 anos)	8,2	

— Índice de arrebetamento a 30°SR

	Média	
<i>E. tereticornis</i> (7 anos)	51,0	
<i>E. saligna</i> (8 anos)	49,0	
<i>E. citriodora</i> (13 anos)	48,0	
<i>E. maculata</i> (7 anos)	43,7	
<i>E. saligna</i> (13 anos)	41,3	
<i>E. paniculata</i> (6 anos)	41,0	
<i>E. citriodora</i> (7 anos)	38,2	
<i>E. paniculata</i> (10 anos)	38,0	

— Índice de arrebetamento a 45°SR

	Média	
<i>E. saligna</i> (8 anos)	65,8	
<i>E. tereticornis</i> (7 anos)	64,2	
<i>E. maculata</i> (7 anos)	60,2	
<i>E. citriodora</i> (13 anos)	58,3	
<i>E. saligna</i> (13 anos)	53,0	
<i>E. paniculata</i> (10 anos)	52,7	
<i>E. citriodora</i> (7 anos)	52,5	
<i>E. paniculata</i> (6 anos)	50,7	

— Índice de arrebetamento a 60°SR

	Média	
<i>E. saligna</i> (8 anos)	72,7	
<i>E. tereticornis</i> (7 anos)	71,0	
<i>E. maculata</i> (7 anos)	70,0	
<i>E. citriodora</i> (13 anos)	64,7	
<i>E. citriodora</i> (7 anos)	59,8	
<i>E. paniculata</i> (10 anos)	59,7	
<i>E. saligna</i> (13 anos)	57,8	
<i>E. paniculata</i> (6 anos)	57,0	

— Índice de rasgo a 30°SR

	Média
<i>E. citriodora</i> (13 anos)	153
<i>E. tereticornis</i> (7 anos)	140
<i>E. saligna</i> (13 anos)	128
<i>E. paniculata</i> (10 anos)	128
<i>E. paniculata</i> (6 anos)	123
<i>E. saligna</i> (8 anos)	122
<i>E. maculata</i> (7 anos)	122
<i>E. citriodora</i> (7 anos)	111

— Índice de rasgo a 45°SR

	Média
<i>E. citriodora</i> (13 anos)	150
<i>E. paniculata</i> (10 anos)	144
<i>E. maculata</i> (7 anos)	139
<i>E. citriodora</i> (7 anos)	135
<i>E. saligna</i> (13 anos)	133
<i>E. tereticornis</i> (7 anos)	132
<i>E. saligna</i> (8 anos)	130
<i>E. paniculata</i> (6 anos)	121

— Índice de rasgo a 60°SR

	Média
<i>E. citriodora</i> (13 anos)	144
<i>E. citriodora</i> (7 anos)	139
<i>E. paniculata</i> (10 anos)	138
<i>E. tereticornis</i> (7 anos)	134
<i>E. saligna</i> (13 anos)	125
<i>E. maculata</i> (7 anos)	125
<i>E. saligna</i> (8 anos)	124
<i>E. paniculata</i> (6 anos)	114

— Peso específico aparente a 30°SR

	Média
<i>E. tereticornis</i> (7 anos)	0,597
<i>E. saligna</i> (8 anos)	0,592
<i>E. maculata</i> (7 anos)	0,555
<i>E. saligna</i> (13 anos)	0,552
<i>E. citriodora</i> (13 anos)	0,543
<i>E. paniculata</i> (6 anos)	0,540
<i>E. paniculata</i> (10 anos)	0,540
<i>E. citriodora</i> (7 anos)	0,515

— Peso específico aparente a 45°SR

	Média	
<i>E. saligna</i> (8 anos)	0,672	
<i>E. maculata</i> (7 anos)	0,637	
<i>E. tereticornis</i> (7 anos)	0,625	
<i>E. saligna</i> (13 anos)	0,620	
<i>E. paniculata</i> (6 anos)	0,588	
<i>E. paniculata</i> (10 anos)	0,587	
<i>E. citriodora</i> (13 anos)	0,580	
<i>E. citriodora</i> (7 anos)	0,563	

— Peso específico aparente a 60°SR

	Média	
<i>E. saligna</i> (8 anos)	0,697	
<i>E. maculata</i> (7 anos)	0,677	
<i>E. saligna</i> (13 anos)	0,650	
<i>E. tereticornis</i> (7 anos)	0,633	
<i>E. paniculata</i> (6 anos)	0,610	
<i>E. paniculata</i> (10 anos)	0,598	
<i>E. citriodora</i> (7 anos)	0,593	
<i>E. citriodora</i> (13 anos)	0,593	

5 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1. Características das madeiras

5.1.1. Dimensões das fibras

Relativamente às dimensões das fibras, observou-se que os resultados encontrados para os comprimentos das mesmas achavam-se perfeitamente dentro dos limites estabelecidos por Dadswell & Stewart (2), ou seja, próximos a 1 cm. Dentre as madeiras investigadas, as de *E. saligna* (8 anos) e *E. tereticornis* (7 anos) mostraram os menores comprimentos de fibras, enquanto *E. citriodora* (13 anos) e *E. saligna* (13 anos) apresentaram os maiores. Notou-se também que as fibras possuíam paredes relativamente espessas, principalmente as espécies *E. paniculata* e *E. citriodora*. Esta característica deve conferir relativa rigidez à fibra, o que provavelmente interferirá em suas qualidades de ligação na formação da folha de papel. As espécies *E. saligna*, *E. tereticornis* e *E. maculata* apresentaram paredes celulares mais delgadas, embora não a ponto de serem consideradas paredes finas, aproximando-se mais à média espessura. Um ligeiro acréscimo com a idade de uma dada madeira foi observado para o comprimento da fibra e espessura da parede celular.

5.1.2. Relações entre as dimensões das fibras

É bem sabido que fibras de madeiras de folhas que apresentam altos índices de Runkel e frações paredes e baixos coeficientes de flexibilidade, mostram-se rígidas e pouco flexíveis na formação do papel, prejudicando as propriedades que dependem da interligação das fibras (resistência à tração e ao arrebatamento) e melhorando a resistência ao rasgo. Para as madeiras em estudo, *E. saligna* (8 e 13 anos), *E. maculata* (7 anos) e *E. tereticornis* (7 anos) caracterizaram-

se por possuírem os menores índices de Runkel e frações parede e os maiores coeficientes de flexibilidade. *E. paniculata* (6 e 10 anos) e *E. citriodora* (7 e 13 anos) mostraram propriedades inversas às apresentadas pelas 4 madeiras inicialmente citadas. Certamente estas características deverão conduzir a diferenças nas propriedades das celuloses obtidas destas madeiras.

5.1.3. Densidade básica das madeiras

As madeiras de *E. tereticornis* e *E. saligna* caracterizaram-se por apresentar médias densidades enquanto as espécies restantes mostravam-nas elevadas. Observou-se ainda um sensível aumento da densidade com o aumento da idade para uma dada espécie.

5.1.4. Composição química das madeiras

Numa análise geral do Quadro 7, observou-se que relativamente às solubilidades das madeiras em diferentes solventes, *E. saligna* (13 anos) mostrou maiores valores para solubilidade em água quente e *E. citriodora* para solubilidade em álcool-benzeno. As outras madeiras tinham aproximadamente os mesmos teores de solutos em água quente e também em álcool-benzeno. Para a solubilidade da madeira em NaOH 1%, *E. saligna* (13 anos), *E. citriodora* (13 anos) e *E. maculata* (7 anos) mostraram os valores mais elevados e *E. paniculata* os inferiores.

Os teores de celulose mantiveram-se mais ou menos similares para todas as madeiras, enquanto os teores de lignina foram maiores para *E. paniculata* (10 anos), *E. tereticornis* (7 anos) e *E. saligna* (13 anos). Altos teores de pentosanas foram observados para *E. paniculata* (6 anos), *E. maculata* (7 anos) e *E. citriodora* (7 anos).

Com referência à variação da composição química com a idade, para uma dada espécie, observou-se que solu

bilidade em água quente, NaOH 1% e álcool-benzeno e teor de lignina aumentaram com a idade enquanto os teores de celulose e pentosanas decresceram.

5.2. Consumo de reagentes químicos na produção de celulose

Da análise do Quadro 2, pode-se verificar que as madeiras de *E. saligna* (13 anos), *E. maculata* (7 anos) e *E. citriodora* (7 anos) necessitaram maiores teores de álcali ativo e maiores concentrações do licor de cozimento para a obtenção do nível de deslignificação previamente adotado.

5.3. Propriedades das celuloses

5.3.1. Rendimento em celulose

Embora não tenham sido constatadas diferenças estatísticas significativas para rendimentos brutos das celuloses, do ponto de vista econômico, algumas das diferenças encontradas foram marcantes. Assim é que, poder-se-ia admitir como madeiras que produziam mais altos rendimentos brutos as seguintes: *E. paniculata* (10 anos), *E. saligna* (8 anos) e *E. citriodora* (7 anos), enquanto *E. saligna* (13 anos) e *E. terebricornis* mostravam os rendimentos brutos mais baixos.

Para rendimento depurado, o único contraste significativo foi aquele entre *E. paniculata* (10 anos) e *E. terebricornis* (7 anos). Entretanto, do ponto de vista econômico, *E. paniculata* (10 anos) produz consideravelmente mais celulose depurada que as outras madeiras, vindo *E. saligna* (8 anos) em segundo lugar.

A madeira que mais rejeitos forneceu foi *E. citriodora* (7 anos) e a que menos forneceu foi *E. saligna* (13 anos). A comparação entre as médias destes dois tratamentos constituiu-se no único contraste significativo para teor de rejeitos.

5.3.2. Tempo de moagem

As diversas celuloses obtidas mostraram-se relativamente uniformes frente ao tempo de moagem para se atingir um determinado grau de refino, à exceção da celulose de *E.citriodora* (7 anos) que foi significativamente mais lenta para refinição.

5.3.3. Comprimento de auto-ruptura

As celuloses de *E.saligna* (8 anos), *E.tereticornis* (7 anos) e *E.maculata* (7 anos) apresentaram as melhores resistências à tração, aparecendo a seguir, também com bons resultados aquelas de *E.citriodora* (7 e 13 anos). As boas qualidades que as três primeiras celuloses apresentaram para esta propriedade vêm confirmar o prognóstico anterior baseado na maior flexibilidade e menor rigidez destas fibras.

5.3.4. Índice de arrebetamento

Relativamente à resistência ao arrebetamento as melhores celuloses foram as obtidas de *E.saligna* (8 anos), *E.tereticornis* (7 anos), *E.maculata* (7 anos) e *E.citriodora* (13 anos). Da mesma forma que para a resistência à tração, atribuíram-se os melhores resultados dos três primeiros tratamentos citados à maior capacidade de inter-ligação de suas fibras.

5.3.5. Índice de rasgo

Conforme discutido anteriormente, esta propriedade é geralmente associada à espessura da parede das fibras e à densidade da madeira. Confirmando as informações bibliográficas, verificou-se que as celuloses de *E.citriodora* (13 e 7 anos) e *E.paniculata* (10 anos) foram as que obtiveram maior destaque para resistência ao rasgo. Esta propriedade

entretanto, apresentou maiores variações na classificação dos tratamentos aos 3 níveis de refinação estudados.

5.3.6. Peso específico aparente

Fibras de paredes mais delgadas têm maior facilidade para sofrerem colapso durante a moagem e produzem assim, folhas mais densas. Explica-se com isso, os maiores valores de peso específico aparente para *E. tereticornis* (7 anos), *E. saligna* (8 e 13 anos) e *E. maculata* (7 anos).

6 - CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos e para as condições anotadas neste experimento, pode-se concluir que praticamente os oito tipos de madeiras estudados produziram celulosos de qualidades que variavam de satisfatórias para boas, dependendo das propriedades desejadas no produto final. Assim é que, quando se visa rendimentos em celulose depurada e não branqueada, as madeiras de *E. paniculata* (10 anos) e *E. saligna* (8 anos) foram as mais indicadas. Quando o propósito é obter celulosos de alta resistência à tração e ao arrebentamento, as madeiras de *E. saligna* (8 anos), *E. tereticornis* (7 anos) e *E. maculata* (7 anos) preenchem melhor as especificações. Entretanto, quando uma maior resistência ao rasgo é desejada, recomenda-se *E. citriodora* (7 e 13 anos) e *E. paniculata* (10 anos). Se a finalidade for a fabricação de papéis mais densos para uma dada gramatura, sugere-se então a celulose de *E. saligna* (8 e 13 anos), *E. tereticornis* (7 anos) e *E. maculata* (7 anos). Misturas de celulosos destas madeiras entre si permitiriam a obtenção de uma grande variedade de produtos com qualidades específicas, o que poderá ser verificado com novos e posteriores ensaios de laboratório.

7 - BIBLIOGRAFIA

- 1) ANDRADE, E.N. - "O Eucalipto", Cia. Paulista de Estradas de Ferro, 2a. edição, 667 pp. (1961).
- 2) DADSWELL, H.E. & STEWART, C.M. - Em "Australia CSIRO Division of Forest Products Technological Paper Nº 17", 39 pp. (1962).
- 3) WATSON, A.J. & COHEN, W.E. - Appita 22(4):xvii-xxxii(1969).
- 4) HIGGINS, H.G. - Appita 23(6):417-426 (1970).
- 5) COHEN, W.E. - Appita 14(3):108-124 (1960).
- 6) RYDHOLM, S.A. & GEDDA, L.F. - Paper Technology 8(3): T61, (1967).
- 7) CHITTENDEN, A.E.; COOMBER, H.E. & CORNEY, N.S. - The Paper Maker 122(3):179-195 (1951).
- 8) SANYER, N. - Em "Proceedings of the UNESCO/FAO Regional Symposium on Pulp and Paper Research and Technology in the Middle East and North Africa".
- 9) PETROFF, G. - Revue Bois et Forêts des Tropiques 103:27-38 (1965).
- 10) BARRICHELO, L.E.G. - Em "Celulose Sulfato de Kiri e Eucalipto", 1a. Convenção Anual ABCP, 16 pp. (1968).
- 11) PEREIRA, R.A.G. - Em "Estudo comparativo das propriedades físico-mecânicas da celulose sulfato de madeira de *Eucalyptus saligna* Smith, *Eucalyptus alba* Reinw e *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden", tese de doutorado, ESALQ-USP, 129 pp. (1969).

- 12) MYBURGH, H.H. - Appita 21(2):49-53 (1967).
- 13) LEON, A. & BORGES, L.C. - Appita 21(2):41-47 (1967).
- 14) MAZZEI, F.M. & OVERBECK, W. - Instituto de Pesquisas Tecnológicas Publicação nº 758, 29 pp. (1966).
- 15) GLEESON, G.L. - Svensk Papperstidning 15(6):477-483 (1960).
- 16) PETROFF, G. - Revue Bois et Forêts des Tropiques 94:25-39 (1964).
- 17) PREBLE, B. - Paper Trade Journal 88(26):53-60 (1929).
- 18) FOELKEL, C.E.B.; BRASIL, M.A.M. & BARRICHELO, L.E.G. - IPEF (2/3):65-74 (1971).
- 19) CLARK, A.G. & LEONARD, W.H. - Journal of American Society of Agronomy 31:55-66 (1939).

A P Ê N D I C E "A"

RENDIMENTOS BRUTOS E DEPURADOS, TEORES DE REJEITOS
E NÚMEROS DE PERMANGANATO DAS CELULOSES

QUADRO A-1: Rendimentos brutos das celuloses (%)

Espécie	Repetição			Média	Desvio padrão
	1	2	3		
<i>E. saligna</i> (8 anos)	47,3	51,6	52,0	50,3	2,6058
<i>E. saligna</i> (13 anos)	46,1	47,0	46,4	46,5	0,4583
<i>E. paniculata</i> (6 anos)	47,8	45,0	48,6	47,1	1,8903
<i>E. paniculata</i> (10 anos)	51,9	52,9	50,3	51,7	1,3115
<i>E. citriodora</i> (7 anos)	53,1	46,8	47,7	49,2	3,4073
<i>E. citriodora</i> (13 anos)	50,0	48,2	45,2	47,8	2,4249
<i>E. maculata</i> (7 anos)	47,5	46,4	52,2	48,7	3,0806
<i>E. tereticornis</i> (7 anos)	46,3	46,7	45,5	46,2	0,6110

F = 2,23 n.s.

CV* = 4,60%

DMS (5%)** = 6,3

* CV = coeficiente de variação.

** DMS (5%) = diferença mínima significativa ao nível de 5% de probabilidades.

QUADRO A-2: Rendimentos depurados das celuloses (%)

Espécie	Repetição			Média	Desvio padrão
	1	2	3		
<i>E. saligna</i> (8 anos)	43,8	48,5	47,5	46,6	2,4759
<i>E. saligna</i> (13 anos)	44,8	44,6	44,0	44,5	0,4164
<i>E. paniculata</i> (6 anos)	46,0	42,0	44,8	44,3	2,0526
<i>E. paniculata</i> (10 anos)	49,9	50,5	48,3	49,6	1,1373
<i>E. citriodora</i> (7 anos)	47,9	43,6	42,1	44,5	3,0105
<i>E. citriodora</i> (13 anos)	45,6	45,8	42,4	44,6	1,9079
<i>E. maculata</i> (7 anos)	43,5	44,1	47,4	45,0	2,1000
<i>E. tereticornis</i> (7 anos)	45,3	43,0	44,0	44,1	1,1533

F = 2,74

CV = 4,28%

DMS (5%) = 5,5

QUADRO A-3: Teores de rejeitos das celuloses (%)

Espécie	Repetição			Média	Desvio padrão
	1	2	3		
<i>E. saligna</i> (8 anos)	3,5	3,1	4,5	3,7	0,7211
<i>E. saligna</i> (13 anos)	1,3	2,1	2,4	1,9	0,5686
<i>E. paniculata</i> (6 anos)	1,8	3,0	3,8	2,9	1,0067
<i>E. paniculata</i> (10 anos)	2,0	2,4	2,0	2,1	0,2310
<i>E. citriodora</i> (7 anos)	5,2	3,2	5,6	4,8	1,2858
<i>E. citriodora</i> (13 anos)	4,4	2,4	2,8	3,2	1,0583
<i>E. maculata</i> (7 anos)	4,0	2,3	4,8	3,7	1,2767
<i>E. tereticornis</i> (7 anos)	1,0	3,7	1,5	2,1	1,4364

$$F = 2,68^S$$

$$CV = 34,17\%$$

$$DMS (5\%) = 2,9$$

QUADRO A-4: Números de permanganato das celuloses

Espécie	Repetição			Média	Desvio padrão
	1	2	3		
<i>E. saligna</i> (8 anos)	15,5	15,3	15,0	15,3	0,2517
<i>E. saligna</i> (13 anos)	16,8	16,6	16,6	16,7	0,1155
<i>E. paniculata</i> (6 anos)	17,0	15,5	17,0	16,5	0,8660
<i>E. paniculata</i> (10 anos)	15,8	16,1	17,0	16,3	0,6245
<i>E. citriodora</i> (7 anos)	15,5	15,0	15,0	15,2	0,2887
<i>E. citriodora</i> (13 anos)	16,2	16,3	15,4	16,0	0,4933
<i>E. maculata</i> (7 anos)	17,0	15,0	15,0	15,7	1,1547
<i>E. tereticornis</i> (7 anos)	16,4	16,0	15,8	16,1	0,3055

F = 2,43 N.S.

CV = 3,80%

DMS (5%) = 1,7

A P Ê N D I C E "B"

PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DAS CELULOSES

QUADRO B-1: Propriedades físico-mecânicas da celulose de *Eucalyptus saligna*, 8 anos (1a. repetição)

Tempo de moagem	0	30	45	60	75	90	120
Grau de moagem	16	30	38	52	65	77	90
Gramatura	61,4	59,9	57,8	59,2	58,6	58,1	57,8
Comprimento de auto-ruptura	3,6	9,5	12,3	10,7	11,8	11,6	11,5
Esticamento	0,70	3,10	3,40	3,70	3,75	4,60	5,35
Índice de rasgo	51	102	138	115	122	97	81
Espessura	132,8	99,4	97,8	85,2	83,0	77,8	66,4
Peso específico aparente	0,462	0,603	0,591	0,695	0,706	0,747	0,870

QUADRO B-2: Propriedades físico-mecânicas da celulose de *Eucalyptus saligna*, 8 anos (2a. repetição)

Tempo de moagem	0	30	45	60	75	90	120
Grau de moagem	16	30	37	51	59	76	86
Gramatura	62,6	61,1	59,5	58,9	60,5	59,6	59,7
Comprimento de auto-ruptura	3,2	9,0	9,3	10,8	10,5	11,2	12,5
Esticamento	0,30	3,25	3,05	3,50	3,25	4,10	4,75
Índice de arre _u bentamento	4,9	55,5	60,5	71,1	71,1	76,2	83,9
Índice de rasgo	43	129	141	118	130	118	96
Espessura	136,0	103,8	99,2	87,0	88,4	88,4	72,8
Peso específi _{co} aparente	0,460	0,589	0,600	0,677	0,684	0,753	0,82

QUADRO B-3: Propriedades físico-mecânicas da celulose de *Eucalyptus saligna*, 8 anos (3a. repetição)

Tempo de moagem	0	30	45	60	75	90	120
Grau de moagem	16	30	37	51	60	70	82
Gramatura	64,1	63,7	62,3	62,0	62,8	63,7	63,5
Comprimento de auto-ruptura	2,6	8,5	8,7	9,8	9,3	9,2	11,0
Esticamento	0,05	2,70	2,50	3,00	2,90	3,30	3,80
Índice de arrebentamento	3,9	50,1	48,5	60,6	63,2	54,3	73,2
Índice de rasgo	43	143	124	128	118	104	102
Espessura	139,8	103,8	101,6	89,2	89,6	83,6	79,2
Peso específico aparente	0,459	0,614	0,613	0,695	0,701	0,762	0,802

QUADRO B-4: Propriedades físico-mecânicas da celulose de *Eucalyptus saligna*, 13 anos (1a. repetição)

Tempo de moagem	0	30	45	60	75	90	120
Grau de moagem	13	30	35	55	63	67	78
Gramatura	61,1	61,5	61,9	59,9	59,2	60,7	59,9
Comprimento de auto-ruptura	2,7	7,5	7,9	8,4	8,7	8,9	8,6
Esticamento	0,00	2,65	2,60	2,95	3,60	3,45	4,00
Índice de arre_bentamento	2,4	45,0	45,6	59,6	58,3	62,4	61,6
Índice de rasgo	41	123	110	120	119	117	110
Espessura	142,6	108,4	106,8	94,8	90,0	89,2	84,6
Peso específi_co aparente	0,428	0,567	0,580	0,632	0,658	0,680	0,708

QUADRO B-5: Propriedades físico-mecânicas da celulose de *Eucalyptus saligna*, 13 anos (2a. repetição)

Tempo de moagem	0	30	45	60	75	90	120
Grau de moagem	16	28	30	52	62	73	77
Gramatura	59,9	59,6	59,7	59,7	59,9	59,4	59,5
Comprimento de auto-ruptura	2,7	6,4	6,2	7,1	8,6	8,8	8,7
Esticamento	0,00	2,00	2,45	2,90	3,30	3,70	3,60
Índice de arre _u bentamento	5,4	35,2	39,5	51,8	54,4	58,2	62,4
Índice de rasgo	47	120	145	135	121	117	102
Peso específi _u co aparente	0,411	0,535	0,551	0,622	0,651	0,673	0,692

QUADRO B-6: Propriedades físico-mecânicas da celulose de *Eucalyptus saligna*, 13 anos (3a. repetição)

Tempo de moagem	0	30	45	60	75	90	120
Grau de moagem	14	32	40	67	70	73	86
Gramatura	59,4	60,7	60,4	63,2	62,1	62,5	61,5
Comprimento de auto-ruptura	2,6	7,7	8,2	8,6	9,2	8,8	9,3
Esticamento	0,00	3,20	3,45	3,80	3,75	3,95	4,15
Índice de <u>arre</u> bentamento	6,6	53,5	52,8	61,4	60,9	62,7	69,9
Índice de rasgo	51	148	137	122	113	115	117
Espessura	142,8	106,6	107,6	92,8	91,6	86,6	83,8
Peso específi <u>co</u> aparente	0,416	0,569	0,561	0,681	0,678	0,722	0,734

QUADRO B-7: Propriedades físico-mecânicas da celulose de *Eucalyptus paniculata*, 6 anos (1a. repetição)

Tempo de moagem	0	30	60	90	120	150	180
Grau de moagem	12	20	22	54	65	75	82
Gramatura	64,5	63,1	60,5	61,9	59,4	58,4	59,8
Comprimento de auto-ruptura	2,1	6,6	7,2	9,2	8,8	9,1	10,0
Esticamento	0,05	2,40	2,55	3,20	3,55	3,25	4,20
Índice de arre _u bentamento	0,0	34,2	41,3	60,6	54,5	63,5	72,9
Índice de rasgo	36	108	135	132	143	147	120
Espessura	162,4	120,8	115,8	102,8	99,2	98,0	86,6
Peso específi _{co} aparente	0,398	0,522	0,522	0,602	0,599	0,596	0,691

QUADRO B-8: Propriedades físico-mecânicas da celulose de *Eucalyptus paniculata*, 6 anos (2a. repetição)

Tempo de moagem	0	30	45	60	75	90	120
Grau de moagem	13	30	37	50	60	70	82
Gramatura	63,9	61,1	60,9	59,8	59,9	59,6	58,4
Comprimento de auto-ruptura	1,8	7,0	8,3	7,5	8,5	9,3	10,5
Esticamento	0,05	3,35	3,40	3,25	3,50	4,25	4,60
Índice de arrebitamento	0,0	42,4	49,1	55,4	56,6	59,9	65,6
Índice de rasgo	30	114	128	119	111	127	95
Espessura	158,8	118,4	107,0	101,0	98,8	92,8	84,0
Peso específico aparente	0,402	0,516	0,569	0,592	0,606	0,642	0,695

QUADRO B-9: Propriedades físico-mecânicas da celulose de *Eucalyptus paniculata*, 6 anos (3a. repetição)

Tempo de moagem	0	30	45	60	75	90	120
Grau de moagem	11	30	47	62	70	84	89
Gramatura	62,7	59,7	59,7	60,6	59,3	59,6	60,2
Comprimento de auto-ruptura	1,5	6,8	7,6	8,1	8,7	8,9	9,3
Esticamento	0,00	3,00	2,50	3,95	4,15	4,55	5,05
Índice de arrebitamento	0,0	35,2	37,9	50,0	56,0	57,2	59,6
Índice de rasgo	24	110	102	100	94	88	80
Espessura	155,2	113,6	102,4	95,2	90,2	78,6	69,0
Peso específico aparente	0,404	0,526	0,583	0,637	0,657	0,758	0,872

QUADRO B-10: Propriedades físico-mecânicas da celulose de *Eucalyptus paniculata*, 10 anos (1a. repetição)

Tempo de moagem	0	30	60	90	120	150	180
Grau de moagem	12	30	37	57	67	81	90
Gramatura	62,4	62,2	60,1	59,7	58,8	56,8	55,4
Comprimento de auto-ruptura	2,0	6,2	7,1	7,4	8,0	8,7	8,2
Esticamento	0,00	2,30	3,40	3,30	3,10	4,00	4,55
Índice de arrebentamento	0,0	33,1	43,6	56,6	61,1	61,8	57,8
Índice de rasgo	32	136	138	135	138	123	84
Espessura	161,4	120,4	113,0	104,4	95,4	89,4	75,4
Peso específico aparente	0,387	0,517	0,647	0,572	0,616	0,635	0,735

QUADRO B-11: Propriedades físico-mecânicas da celulose de *Eucalyptus paniculata*, 10 anos (2a. repetição)

Tempo de moagem	0	30	60	90	120	150	180
Grau de moagem	12	24	42	66	73	86	88
Gramatura	61,7	59,5	60,1	55,0	58,4	56,7	57,1
Comprimento de auto-ruptura	1,9	5,8	7,5	9,2	8,7	9,7	9,5
Esticamento	0,05	2,30	3,00	4,10	4,10	4,20	4,55
Índice de arbentamento	0,0	29,6	48,4	63,5	56,0	65,1	68,3
Índice de rasgo	33	142	155	123	126	109	95
Espessura	160,0	116,8	104,4	92,6	94,8	83,8	78,4
Peso específico aparente	0,386	0,508	0,576	0,594	0,616	0,677	0,728

QUADRO B-12: Propriedades físico-mecânicas da celulose de *Eucalyptus paniculata*, 10 anos (3a. repetição)

Tempo de moagem	0	30	60	90	120	150	180
Grau de moagem	14	21	38	69	68	88	90
Gramatura	66,9	62,9	61,3	62,5	59,3	56,5	60,1
Comprimento de auto-ruptura	1,6	6,6	8,1	8,2	8,9	8,9	9,5
Esticamento	0,00	2,65	3,25	4,10	3,50	4,60	4,55
Índice de arrebitamento	0,0	32,6	53,0	61,6	56,3	67,6	70,4
Índice de rasgo	34	98	123	145	153	117	83
Espessura	166,6	124,6	110,8	103,4	99,6	80,4	77,6
Peso específico aparente	0,402	0,505	0,553	0,604	0,595	0,703	0,774

QUADRO B-13: Propriedades físico-mecânicas da celulose de *Eucalyptus citriodora*, 7 anos (1a. repetição)

Tempo de moagem	0	15	30	45	60	75	90
Grau de moagem	12	24	33	62	79	86	88
Gramatura	57,7	60,5	61,8	59,4	59,5	59,3	58,1
Comprimento de auto-ruptura	1,9	6,8	7,3	9,1	9,7	9,8	10,3
Esticamento	0,00	2,60	3,35	3,50	4,20	4,75	5,65
Índice de arrebitamento	0,0	28,6	41,7	56,6	64,4	70,0	67,5
Índice de rasgo	31	96	114	124	116	99	79
Peso específico aparente	0,379	0,514	0,566	0,620	0,687	0,736	0,807

QUADRO B-14: Propriedades físico-mecânicas da celulose de *Eucalyptus citriodora*, 7 anos (2a. repetição)

Tempo de moagem	0	30	45	60	75	90	120
Grau de moagem	12	35	60	76	84	87	92
Gramatura	59,1	57,9	58,8	56,1	56,0	57,4	54,3
Comprimento de auto-ruptura	1,9	7,6	8,9	9,8	9,6	9,6	9,7
Esticamento	0,00	2,70	2,80	3,90	3,35	3,70	4,50
Índice de arrebitamento	0,0	44,8	56,7	67,4	70,6	68,9	73,5
Índice de rasgo	36	124	140	132	115	113	112
Espessura	147,2	117,2	106,4	97,0	93,2	88,4	76,6
Peso específico aparente	0,401	0,494	0,553	0,578	0,601	0,649	0,709

QUADRO B-15: Propriedades físico-mecânicas da celulose de *Eucalyptus citriodora*, 7 anos (3a. repetição)

Tempo de moagem	0	30	45	60	75	90	120
Grau de moagem	12	37	57	74	81	84	92
Gramatura	63,5	60,5	60,7	59,8	61,4	59,9	57,9
Comprimento de auto-ruptura	1,9	7,8	8,6	9,9	9,4	8,9	9,9
Esticamento	0,00	3,35	3,25	3,75	4,20	3,75	4,40
Índice de arre_bentamento	0,0	47,8	56,8	70,4	71,2	70,3	76,5
Índice de rasgo	41	133	156	148	131	146	116
Espessura	150,2	113,6	101,4	98,4	88,2	89,6	83,6
Peso específico aparente	0,423	0,533	0,599	0,608	0,696	0,669	0,693

QUADRO B-16: Propriedades físico-mecânicas da celulose de *Eucalyptus citriodora*, 13 anos (1ª. repetição)

Tempo de moagem	0	30	60	90	120	150	180
Grau de moagem	16	21	40	61	80	84	84
Gramatura	62,4	58,4	60,6	60,2	59,1	59,1	59,0
Comprimento de auto-ruptura	2,0	7,2	8,0	8,7	9,5	9,8	9,9
Esticamento	0,05	2,75	3,10	3,60	3,75	4,15	4,15
Índice de arre _u bentamento	0,0	47,4	52,6	63,1	73,6	76,5	72,4
Índice de rasgo	32	154	146	157	139	120	132
Espessura	164,0	120,4	112,0	106,6	96,4	89,8	93,8
Peso específi _{co} aparente	0,380	0,485	0,541	0,565	0,613	0,658	0,629

QUADRO B-17: Propriedades físico-mecânicas da celulose de *Eucalyptus citriodora*, 13 anos (2a. repetição)

Tempo de moagem	0	30	60	90	120	150	180
Grau de moagem	10	22	47	70	82	86	92
Gramatura	63,3	61,2	61,2	58,3	58,9	58,5	57,2
Comprimento de auto-ruptura	1,5	6,7	8,4	8,7	9,0	10,2	10,1
Esticamento	0,00	2,70	3,40	3,95	4,40	5,05	4,35
Índice de arre _u bentamento	0,0	36,4	55,6	70,2	73,3	72,0	71,0
Índice de rasgo	32	126	152	135	121	93	70
Espessura	166,2	122,8	105,2	100,2	86,6	79,0	67,8
Peso específi _{co} aparente	0,381	0,498	0,582	0,582	0,680	0,741	0,844

QUADRO B-18: Propriedades físico-mecânicas da celulose de *Eucalyptus citriodora*, 13 anos (3a. repetição)

Tempo de moagem	0	30	60	90	120	150	180
Grau de moagem	14	26	40	58	73	87	92
Comprimento de auto-ruptura	2,0	7,4	8,8	8,6	9,5	10,2	10,2
Esticamento	0,00	2,90	3,60	3,90	3,75	4,25	3,90
Índice de arre_bentamento	0,0	48,6	59,4	58,6	69,4	76,7	71,1
Índice de rasgo	25	133	137	148	99	99	64
Espessura	161,8	114,8	101,6	100,2	94,8	76,8	71,2
Peso específi_co aparente	0,396	0,539	0,589	0,603	0,627	0,772	0,846

QUADRO B-19: Propriedades físico-mecânicas da celulose de *Eucalyptus maculata*, 7 anos (1a. repetição)

Tempo de moagem	0	30	60	75	90	120	150
Grau de moagem	12	32	51	63	72	84	90
Gramatura	63,2	62,6	62,4	60,5	60,1	59,3	59,4
Comprimento de auto-ruptura	2,1	8,0	8,3	9,6	9,6	10,4	11,8
Esticamento	0,05	3,25	3,35	3,50	4,10	4,45	5,45
Índice de arre- bentamento	0,0	50,3	67,9	67,8	67,4	78,1	80,0
Índice de rasgo	29	132	127	116	137	108	92
Espessura	145,4	109,4	98,2	93,6	88,8	84,4	73,8
Peso específico aparente	0,435	0,572	0,635	0,646	0,677	0,703	0,805

QUADRO B-20: Propriedades físico-mecânicas da celulose de *Eucalyptus maculata*, 7 anos (2a. repetição)

Tempo de moagem	0	30	45	60	75	90	120
Grau de moagem	14	26	36	42	66	76	91
Gramatura	63,7	62,8	62,1	60,5	59,5	59,0	60,4
Comprimento de auto-ruptura	1,9	6,1	7,7	7,6	8,6	8,9	9,8
Esticamento	0,00	2,60	3,10	3,30	3,90	4,65	5,95
Índice de arre_bentamento	0,0	35,5	57,2	55,4	60,5	75,1	72,7
Índice de rasgo	34	123	132	147	126	115	72,1
Espessura	150,2	120,6	97,8	103,0	93,8	86,8	65,8
Peso específi_co aparente	0,424	0,521	0,635	0,587	0,634	0,680	0,918

QUADRO B-21: Propriedades físico-mecânicas da celulose de *Eucalyptus maculata*, 7 anos (3a. repetição)

Tempo de moagem	0	30	45	60	75	90	120
Grau de moagem	12	30	37	46	62	71	86
Gramatura	64,4	62,5	62,1	61,0	62,1	62,0	61,6
Comprimento de auto-ruptura	2,4	7,6	8,0	9,8	10,9	10,8	11,4
Esticamento	0,05	3,20	3,15	4,45	4,65	5,80	5,20
Índice de <u>arrebentamento</u>	0,0	46,1	60,2	73,1	76,8	79,7	86,7
Índice de rasgo	38	128	131	136	110	82	97
Espessura	152,0	113,8	97,8	90,6	83,6	71,6	75,8
Peso específico aparente	0,424	0,549	0,635	0,673	0,743	0,866	0,813

QUADRO B-22: Propriedades físico-mecânicas da celulose de *Eucalyptus tereticornis*, 7 anos (1ª. repetição)

Tempo de moagem	0	30	60	90	120	150	180
Grau de moagem	14	26	30	46	53	72	80
Gramatura	63,6	63,4	62,0	61,8	59,8	61,6	59,8
Comprimento de auto-ruptura	3,1	7,5	8,1	9,1	8,8	11,5	10,2
Esticamento	0,35	2,70	2,90	3,45	3,60	4,30	4,75
Índice de arbentamento	9,4	49,8	58,2	66,7	66,2	75,5	83,4
Índice de rasgo	58	157	126	129	128	138	109
Espessura	137,8	105,2	99,8	96,8	93,6	90,4	80,0
Peso específico aparente	0,462	0,603	0,621	0,638	0,639	0,681	0,748

QUADRO B-23: Propriedades físico-mecânicas da celulose de *Eucalyptus tereticornis*, 7 anos (2a. repetição)

Tempo de moagem	0	30	45	60	90	120	150
Grau de moagem	13	28	37	43	70	85	92
Gramatura	63,3	60,6	62,4	61,7	62,2	60,6	59,6
Comprimento de auto-ruptura	3,2	7,5	7,9	8,3	10,9	12,0	10,7
Esticamento	0,60	3,10	3,25	3,85	4,40	4,35	5,45
Índice de arrebentamento	8,1	49,7	54,9	68,6	69,1	82,3	75,3
Espessura	124,4	107,6	102,0	99,4	89,8	79,8	66,2
Peso específico aparente	0,445	0,563	0,612	0,621	0,693	0,759	0,900

QUADRO B-24: Propriedades físico-mecânicas da celulose de *Eucalyptus tereticornis*, 7 anos (3a. repetição)

Tempo de moagem	0	30	60	90	120	150	180
Grau de moagem	15	26	33	42	56	70	72
Gramatura	65,9	62,8	62,4	61,4	62,0	62,5	58,6
Comprimento de auto-ruptura	3,3	7,4	7,7	9,3	8,8	9,7	9,7
Esticamento	0,55	2,40	2,70	3,60	3,30	4,20	3,60
Índice de arrebentamento	5,3	43,3	54,6	64,8	65,0	74,6	69,1
Índice de rasgo	62	143	144	142	133	112	129
Espessura	143,2	106,0	102,0	99,8	96,0	94,6	90,0
Peso específico aparente	0,460	0,592	0,612	0,615	0,646	0,661	0,640

A P Ê N D I C E "C"

PROPRIEDADES DAS CELULOSES A 30°SR, 45°SR e 60°SR

QUADRO C-1: Tempos de moagem necessários para atingir 30°SR

Espécie	Repetição			Média	Desvio padrão
	1	2	3		
<i>E. saligna</i> (8 anos)	30	30	30	30,0	0,0000
<i>E. saligna</i> (13 anos)	28	26	31	28,3	2,5166
<i>E. paniculata</i> (6 anos)	20	30	30	26,7	5,7735
<i>E. paniculata</i> (10 anos)	25	26	26	25,7	0,5774
<i>E. citriodora</i> (7 anos)	33	35	37	35,0	2,000
<i>E. citriodora</i> (13 anos)	25	26	26	25,7	0,5774
<i>E. maculata</i> (7 anos)	32	28	30	30,0	2,0000
<i>E. tereticornis</i> (7 anos)	24	28	25	25,7	2,0817

$$F = 4,83^S$$

$$CV = 9,03\%$$

$$DMS (5\%) = 7,3$$

QUADRO C-2: Tempos de moagem necessários para atingir 45°SR

Espécie	Repetição			Média	Desvio padrão
	1	2	3		
<i>E. saligna</i> (8 anos)	37	37	37	37,0	0,0000
<i>E. saligna</i> (13 anos)	37	35	40	37,3	2,5166
<i>E. paniculata</i> (6 anos)	25	37	47	36,3	11,0151
<i>E. paniculata</i> (10 anos)	31	34	34	33,0	1,7321
<i>E. citriodora</i> (7 anos)	62	60	57	59,7	2,5166
<i>E. citriodora</i> (13 anos)	30	34	34	32,7	2,3094
<i>E. maculata</i> (7 anos)	41	35	37	37,7	3,0551
<i>E. tereticornis</i> (7 anos)	28	37	28	31,0	5,1962

F = 11,06^S

CV = 12,40%

DMS (5%) = 13,4

QUADRO C-3: Tempos de moagem necessários para atingir 60°SR

Espécie	Repetição			Média	Desvio padrão
	1	2	3		
<i>E. saligna</i> (8 anos)	52	50	50	50,7	1,1547
<i>E. saligna</i> (13 anos)	51	49	60	53,3	5,8595
<i>E. paniculata</i> (6 anos)	30	50	60	46,7	15,2753
<i>E. paniculata</i> (10 anos)	37	41	41	39,7	2,3094
<i>E. citriodora</i> (7 anos)	79	77	75	77,0	2,0000
<i>E. citriodora</i> (13 anos)	40	45	40	41,7	2,8868
<i>E. maculata</i> (7 anos)	51	44	46	47,0	3,6056
<i>E. tereticornis</i> (7 anos)	38	44	38	40,0	3,4641

F = 11,38^S

CV = 12,61%

DMS (5%) = 17,7

QUADRO C-4: Comprimentos de auto-ruptura a 30°SR

Espécie	Repetição			Média	Desvio padrão
	1	2	3		
<i>E. saligna</i> (8 anos)	9,5	8,7	8,2	8,8	0,6557
<i>E. saligna</i> (13 anos)	7,4	6,5	7,4	7,1	0,5196
<i>E. paniculata</i> (6 anos)	8,0	7,0	6,7	7,2	0,6807
<i>E. paniculata</i> (10 anos)	6,0	6,4	7,4	6,6	0,7211
<i>E. citriodora</i> (7 anos)	7,3	7,2	7,2	7,2	0,0579
<i>E. citriodora</i> (13 anos)	7,7	7,7	7,8	7,7	0,0579
<i>E. maculata</i> (7 anos)	7,0	6,6	7,3	7,0	0,3512
<i>E. tereticornis</i> (7 anos)	8,1	7,6	7,3	7,7	0,4042

F = 5,32^S

CV = 6,76%

DMS (5%) = 1,4

QUADRO C-5: Comprimentos de auto-ruptura a 45°SR

Espécie	Repetição			Média	Desvio padrão
	1	2	3		
<i>E. saligna</i> (8 anos)	11,4	9,6	9,3	10,1	1,1358
<i>E. saligna</i> (13 anos)	8,3	7,1	8,3	7,9	0,6928
<i>E. paniculata</i> (6 anos)	8,6	8,0	7,4	8,0	0,6000
<i>E. paniculata</i> (10 anos)	7,2	7,7	8,1	7,0	0,4509
<i>E. citriodora</i> (7 anos)	8,3	8,3	8,3	8,3	0,0000
<i>E. citriodora</i> (13 anos)	8,3	8,4	8,6	8,4	0,1528
<i>E. maculata</i> (7 anos)	8,5	8,0	9,4	8,6	0,7095
<i>E. tereticornis</i> (7 anos)	9,0	8,5	8,8	8,8	0,2517

$$F = 4,62^S$$

$$CV = 7,15\%$$

$$DMS (5\%) = 1,7$$

QUADRO C-6: Comprimentos de auto-ruptura a 60°SR.

Espécie	Repetição			Média	Desvio padrão
	1	2	3		
<i>E. saligna</i> (8 anos)	11,8	9,7	9,4	10,3	1,3077
<i>E. saligna</i> (13 anos)	8,6	8,1	8,6	8,4	0,2887
<i>E. paniculata</i> (6 anos)	9,0	8,5	8,0	8,5	0,5000
<i>E. paniculata</i> (10 anos)	7,7	8,7	8,2	8,2	0,5000
<i>E. citriodora</i> (7 anos)	9,0	8,9	9,0	9,0	0,0579
<i>E. citriodora</i> (13 anos)	8,7	8,6	8,8	8,7	0,1000
<i>E. maculata</i> (7 anos)	9,2	8,7	10,6	9,5	0,9849
<i>E. tereticornis</i> (7 anos)	10,0	9,9	9,6	9,8	0,2082

$$F = 4,00^S$$

$$CV = 7,12\%$$

$$DMS (5\%) = 1,8$$

QUADRO C-7: Índices de arrebatamento a 30°SR

Espécie	Repetição			Média	Desvio padrão
	1	2	3		
<i>E. saligna</i> (8 anos)	54,0	50,0	43,0	49,0	5,5678
<i>E. saligna</i> (13 anos)	41,0	38,0	45,0	41,3	3,5119
<i>E. paniculata</i> (6 anos)	44,0	43,0	36,0	41,0	4,3589
<i>E. paniculata</i> (10 anos)	33,0	37,0	44,0	38,0	5,5678
<i>E. citriodora</i> (13 anos)	49,0	46,0	49,0	48,0	1,7321
<i>E. maculata</i> (7 anos)	44,0	40,5	46,5	43,7	3,0139
<i>E. tereticornis</i> (7 anos)	54,0	49,5	49,5	51,0	2,5981

$$F = 5,37^S$$

$$CV = 8,55\%$$

$$DMS (5\%) = 10,6$$

QUADRO C-8: Índices de arrebetamento a 45°SR

Espécie	Repetição				Média	Desvio padrão
		1	2	3		
<i>E. saligna</i> (8 anos)		71,0	66,5	60,0	65,8	5,5302
<i>E. saligna</i> (13 anos)		54,0	48,5	56,5	53,0	4,0927
<i>E. paniculata</i> (6 anos)		54,0	53,0	45,0	50,7	4,9329
<i>E. paniculata</i> (10 anos)		50,0	52,0	56,0	52,7	3,0551
<i>E. citriodora</i> (7 anos)		53,0	52,5	52,0	52,5	0,5000
<i>E. citriodora</i> (13 anos)		59,0	57,0	59,0	58,3	1,1547
<i>E. maculata</i> (7 anos)		65,0	64,0	63,5	64,2	0,7638

$$F = 9,27^S$$

$$CV = 5,77\%$$

$$DMS (5\%) = 9,4$$

QUADRO C-9: Índices de arrebatamento a 60°SR

Espécie	Repetição			Média	Desvio padrão
	1	2	3		
<i>E. saligna</i> (8 anos)	78,0	73,5	66,5	72,7	5,7951
<i>E. saligna</i> (13 anos)	59,0	54,5	60,0	57,8	2,9297
<i>E. paniculata</i> (6 anos)	62,5	56,5	52,0	57,0	5,2678
<i>E. paniculata</i> (10 anos)	58,0	60,5	60,5	59,7	1,4434
<i>E. citriodora</i> (7 anos)	61,0	59,0	59,5	59,8	1,0408
<i>E. citriodora</i> (13 anos)	65,0	63,5	65,5	64,7	1,0408
<i>E. maculata</i> (7 anos)	69,0	65,0	76,0	70,0	5,5678
<i>E. tereticornis</i> (7 anos)	72,5	71,0	69,5	71,0	1,5000

$$F = 9,05^S$$

$$CV = 5,72\%$$

$$DMS (5\%) = 10,4$$

QUADRO C-10: Índices de rasgo a 30°SR

Espécie	Repetição			Média	Desvio padrão
	1	2	3		
<i>E. saligna</i> (8 anos)	108	123	135	122	13,5277
<i>E. saligna</i> (13 anos)	120	132	133	128	7,2342
<i>E. paniculata</i> (6 anos)	140	116	114	123	14,4684
<i>E. paniculata</i> (10 anos)	125	145	115	128	15,2753
<i>E. citriodora</i> (7 anos)	108	110	115	111	3,6056
<i>E. citriodora</i> (13 anos)	162	157	140	153	11,5326
<i>E. maculata</i> (7 anos)	122	122	122	122	0,0000
<i>E. tereticornis</i> (7 anos)	146	128	146	140	10,3923

$$F = 4,23^S$$

$$CV = 8,40\%$$

$$DMS (5\%) = 31$$

QUADRO C-11: Índices de rasgo a 45°SR

Espécie	Repetição			Média	Desvio padrão
	1	2	3		
<i>E. saligna</i> (8 anos)	130	132	128	130	2,0000
<i>E. saligna</i> (13 anos)	120	138	141	133	11,3578
<i>E. paniculata</i> (6 anos)	132	123	107	121	12,6623
<i>E. paniculata</i> (10 anos)	145	153	135	144	9,0185
<i>E. citriodora</i> (7 anos)	125	135	144	135	9,5044
<i>E. citriodora</i> (13 anos)	155	152	143	150	6,2450
<i>E. maculata</i> (7 anos)	139	141	136	139	2,5166
<i>E. tereticornis</i> (7 anos)	130	132	133	132	1,5275

$$F = 3,81^S$$

$$CV = 5,91\%$$

$$DMS (5\%) = 23$$

QUADRO C-12: Índices de rasgo a 60°SR

Espécie	Repetição			Média	Desvio padrão
	1	2	3		
<i>E. saligna</i> (8 anos)	120	130	122	124	5,2915
<i>E. saligna</i> (13 anos)	120	125	130	125	5,0000
<i>E. paniculata</i> (6 anos)	132	112	99	114	16,6233
<i>E. paniculata</i> (10 anos)	137	132	145	138	6,5574
<i>E. citriodora</i> (7 anos)	127	139	150	139	11,5036
<i>E. citriodora</i> (13 anos)	150	145	138	144	6,0277
<i>E. maculata</i> (7 anos)	127	129	120	125	4,7258
<i>E. tereticornis</i> (7 anos)	132	135	134	134	1,5275

$$F = 4,15^S$$

$$CV = 6,45\%$$

$$DMS (5\%) = 24$$

QUADRO C-13: Pesos específicos aparentes a 30°SR

Espécie	Repetição			Média	Desvio padrão
	1	2	3		
<i>E.saligna</i> (8 anos)	0,600	0,585	0,590	0,592	0,007649
<i>E.saligna</i> (13 anos)	0,555	0,550	0,550	0,552	0,002915
<i>E.paniculata</i> (6 anos)	0,560	0,530	0,530	0,540	0,017321
<i>E.paniculata</i> (10 anos)	0,540	0,535	0,545	0,540	0,005000
<i>E.citriodora</i> (7 anos)	0,550	0,480	0,515	0,515	0,035000
<i>E.citriodora</i> (13 anos)	0,530	0,545	0,555	0,543	0,012590
<i>E.maculata</i> (7 anos)	0,555	0,555	0,555	0,555	0,000000
<i>E.tereticornis</i> (7 anos)	0,625	0,555	0,610	0,597	0,036858

$$F = 5,76^S$$

$$CV = 3,57\%$$

$$DMS (5\%) = 0,056$$

QUADRO C-14: Pesos específicos aparentes a 45°SR

Espécie	Repetição			Média	Desvio padrão
	1	2	3		
<i>E.saligna</i> (8 anos)	0,675	0,665	0,675	0,672	0,005788
<i>E.saligna</i> (13 anos)	0,620	0,620	0,620	0,620	0,000000
<i>E.paniculata</i> (6 anos)	0,605	0,580	0,580	0,588	0,014440
<i>E.paniculata</i> (10 anos)	0,615	0,575	0,570	0,587	0,024668
<i>E.citriodora</i> (7 anos)	0,600	0,520	0,570	0,563	0,040417
<i>E.citriodora</i> (13 anos)	0,570	0,580	0,590	0,580	0,010000
<i>E.maculata</i> (7 anos)	0,620	0,630	0,660	0,637	0,020821
<i>E.tereticornis</i> (7 anos)	0,630	0,620	0,625	0,625	0,005000

F = 10,06^S

CV = 3,20%

DMS (5%) = 0,055

QUADRO C-15: Pesos específicos aparentes a 60°SR

Espécie	Repetição			Média	Desvio padrão
	1	2	3		
<i>E. saligna</i> (8 anos)	0,700	0,690	0,700	0,697	0,005788
<i>E. saligna</i> (13 anos)	0,650	0,650	0,650	0,650	0,000000
<i>E. paniculata</i> (6 anos)	0,600	0,605	0,625	0,610	0,013229
<i>E. paniculata</i> (10 anos)	0,610	0,590	0,595	0,598	0,010416
<i>E. citriodora</i> (7 anos)	0,625	0,555	0,600	0,593	0,035475
<i>E. citriodora</i> (13 anos)	0,580	0,590	0,610	0,593	0,015281
<i>E. maculata</i> (7 anos)	0,640	0,650	0,740	0,677	0,055077
<i>E. tereticornis</i> (7 anos)	0,640	0,630	0,630	0,633	0,005788

$$F = 7,80^S$$

$$C.V. = 3,91\%$$

$$DMS (5\%) = 0,070$$

O PROBLEMA DA CASCA DO EUCALIPTO

Dr. Gunnar Krogh^(*)

Aspectos físicos-químicos

A casca de eucalipto varia de aspecto, característica e quantidade, com a espécie, idade e lugar na árvore. Não temos e não conhecemos estudos específicos sobre estas variações.

Esta, como as demais fábricas de celulose no País, recebem eucalipto de várias espécies e idades.

Baseando-nos num estudo muito rudimentar, feito anos atrás, usamos para fins de cálculos, as quantidades 13% de casca sobre o volume total da madeira com casca e 10% sobre o peso seco.

Logo depois do corte, enquanto o eucalipto ainda está úmido, o descascamento é relativamente fácil, mas quando seco, a seiva age como uma cola, tornando o descascamento muito difícil.

Depois de um período de secagem — 4 a 6 meses — a casca racha, provavelmente devido ao fato dela secar e encolher mais rápido do que a madeira, e o descascamento se faz, de novo, com mais facilidade.

Devido o seu conteúdo relativamente alto de fibras, a casca de eucalipto é bem mais resistente fisicamente do que, por exemplo, casca de Pinus. Ela tende assim, formar lascas compridas no descascamento, seja qual for o método usado. Isto pode ser uma vantagem quando o processo é feito manualmente, mas é, definitivamente, uma desvantagem, quando se descasca mecanicamente, pois causa problemas operacionais na máquina e no equipamento de transporte e aproveitamento da casca.

Quanto à composição química da casca, estamos outra vez sem dados. Nesta indústria não fizemos análi-

(*) Cia. Suzano de Papel e Celulose.

ses e nem temos conhecimento de estudos publicados sobre o assunto.

Pelos resultados de pesquisas de cozimento, a serem abordados em seguida, podemos, por \bar{e} m, tirar a conclus \bar{a} o de que o conte \bar{u} do de *holocelulose* \bar{e} inferior ao da madeira e que o conte \bar{u} do da lignina e outras subst \bar{a} ncias n \bar{a} o celul \bar{o} sicas \bar{e} maior.

Temos feito em nossos laborat \bar{o} rios, cozimen \bar{t} o e branqueamentos com 100% de casca, e com madeira misturada com percentagens vari \bar{a} veis de casca.

Reproduzimos no quadro seguinte alguns resultados destes testes. \bar{E} interessante notar que os testes foram feitos em 1968 e 1971. Em 1973 a Billeruds AB entrou com um pedido de patente do INPI tentando proteger cozimento de eucalipto com casca. O Sindicato da Ind \bar{u} stria de Papel e Celulose contestou o pedido e, depois, n \bar{a} o se ouviu mais falar no assunto.

	Testes Maio 1968			Testes Mar \bar{c} o 1971		
	0% casca	100% casca	10% casca	0% casca	100% casca	10% casca
A.A. sobre madeira %	14	27	16	15	30	16
Tempo at \bar{e} 165 $^{\circ}$ min.	110	110	110	110	110	110
Tempo cozimento min.	50	50	50	50	50	50
A.A. Residual %	5.6	11.2	11.2	6.8	16.1	7.8
Rendimento (sem rejeito) %	55	43.6	50.3	56.0	43.3	55.5
Rejeito	--	--	--	0,7	--	0,2
Indice de permanganato	16	50	17	14	30	14

(Continua)

Continuação

Consumo de cloro total %	7,5	22,0	8,2
Alvura	8,6	84	86
Auto ruptura 45 SR	7.510		6.650
Mullen "	70		59
Rasgo "	62.5		47
Dobras "	680		310
Branqueamento CEDED			
Consumo total de cloro %		7,0	7,0
Alvura		94,0	94,0
Auto ruptura		6.250	5.700
Mullen		48.5	43,5
Rasgo		127	117
Dobra		120	125

Os resultados mostram que a madeira de eucalipto pode ser cozida e branqueada com casca, com um sacrifício relativamente pequeno, na consistência da celulose obtida, sem prejuízo a alvura e pureza, e com um pequeno aumento no consumo de agentes químicos.

Excluimos desta conclusão as espécies em casca grossa, como é o caso, por exemplo, de eucalipto Robusta.

Até casca pura pode ser transformada em celulose, com um rendimento de 43 - 44%, porém praticamente imbranqueável...

Sendo assim, não deveria haver problemas com a casca. Mas mesmo assim enumeramos e descrevemos alguns deles:

- 1 - Nos picadores, a casca tem uma tendência de formar lascas compridas que dificultam o transporte e a peneiração dos cavacos.

Este problema sō aparece, porēm, com madeira de 4 meses ou mais de corte e pode ser contornado usando madeira verde. Isto implica por outro lado no transporte de mais água. Em média o peso aumenta em 100 kg/m³, significando, por exemplo, que um caminhão que pode transportar 50 m³ de madeira com um peso médio de 500 kg/m³ transporta sō 41,5 m³, quando o peso médio é 600 kg/m³. Evidentemente, hã um limite econômico de distância de transporte.

- 2 - Na picagem de madeira com casca forma-se mais finos. Já com madeira verde, a percentagem de finos aumenta em 100%. E com madeira seca muito mais. Na estocagem dos cavacos, a madeira seca rapidamente e a casca solta da madeira, formando-se mais finos. Não temos ainda experiência no País de qual pode ser o efeito disto, mas hã um caso de incêndio de cavacos na Suécia que foi atribuído à presença de casca e finos no estoque.
- 3 - Em digestores contínuos, do tipo que opera com lavagem em contracorrente dentro do próprio digestor, o cozimento com casca tem causado problemas ainda não resolvidos. A causa dos problemas deve ser atribuída a finos, formados no picador, no manejo dos cavacos e no próprio digestor, dificultando a circulação da lixívia dentro da coluna de cavacos e entupindo as peneiras. Uma fábrica como a nossa que tem um cozimento contínuo e "batch", os cavacos podem ser peneirados logo antes do digestor contínuo, misturando os finos nos cavacos a serem cozidos nos digestores "batch". Mas isto pode implicar numa percentagem de finos alta demais nos digestores "batch" perturbando a circulação e prejudicando a qualidade da celulose.
- 4 - O aumento do consumo de agentes químicos e a maior quantidade de substância orgânica da madeira pode resultar em sobrecarga do equipamento de recuperação em fábricas que trabalham nos limites da capacidade de recuperação.

Podemos, assim, concluir, que há sérias restrições para o uso de madeira com casca na fabricação de celulose. O descascamento da madeira será, por isso, ainda uma necessidade para a maioria das fábricas ou para a maior parte da madeira consumida numa fábrica. Simultaneamente podemos, porém, afirmar que pequenas quantidades de casca podem entrar junto com a madeira em qualquer tipo de digestor, significando que a madeira pode ser razoavelmente mal descascada ou que a madeira de bitola muito fina pode entrar no processo sem descascamento, caso tal madeira for misturada com uma alta percentagem de madeira bem descascada.

Descascamento manual

Este processo, caso praticado normalmente, representa um serviço pesado e caro, e limita as possibilidades de mecanização dos serviços florestais. O único fator positivo é que a casca fica no mato, beneficiando o solo e não criando problemas nas indústrias.

Deve haver possibilidades de racionalizar o descascamento manual, juntando a madeira, preferivelmente em troncos inteiros.

Há centros de beneficiamento, onde o descascamento manual pode ser feito com a ajuda de dispositivos e ferramentas adequadas.

Isto é um assunto que, acho, merece um estudo profundo.

Descascamento mecânico

Foram experimentados inúmeras máquinas descascadoras desde unidades leves transportáveis até os tambores clássicos de descascamento.

As máquinas leves que nós vimos até agora

não inspiram confiança. Elas são mecanicamente vulneráveis e necessitam de muita mão de obra, encarecendo em vez de baratear o processo.

Tipos mais pesados, estacionários, ou montados em veículos, como Câmbio e máquinas semelhantes, foram experimentados por nós e por outros, com resultado negativo.

Os problemas são:

- As máquinas podem ser reguladas para descascar bem a madeira dentro de uma certa faixa relativamente pequena de bitolas mas não descasca madeira inferior àquela bitola e não aceita madeira de bitola maior.
- As lascas compridas de casca enrolam-se nas ferramentas causando repetidas paradas.
- As máquinas só trabalham bem se a madeira for razoavelmente reta com galhos cortados rente ao tronco.
- O fabricante do Câmbio alega agora que desenvolveu uma máquina que foi testada com bons resultados na Espanha e Portugal. Consiste de um câmbio duplo. O primeiro corta a casca num espiral duplo, permitindo que o segundo tire a casca em pequenos pedaços.
- A máquina deve custar ao redor de Cr\$1,5 milhões, instalada, sendo a sua capacidade média 30 m³/h.
- Caso funcione e produza 30 m³/h, durante 20 horas por dia e 300 dias por ano (150.000 m³/ano) o investimento se justifica.
- Tambores de descascamento ("barcking drums") sabemos que funcionam porém com capacidade variável, dependendo do tempo de corte da madeira.
- O descascamento pode ser feito úmido ou a seco, com madeira relativamente curta que tomba no tambor ou madeira comprida que mantém a posição horizontal na passagem através do tambor.
- É preferível operar o tambor a seco devido o manejo posterior da casca, mas isto implica em usar madeira com pelo me

nos 4 meses de corte, preferivelmente 5 a 6 meses.

- É também melhor trabalhar com madeira comprida, pois no tipo de tambor tombado, as toras finas quebram e as pontas das toras ficam "vassuradas", perdendo-se quantidades apreciáveis de madeira.
- Uma instalação de tambores de descascamento é muito caro. Para uma fábrica de 1.000 t/d o investimento seria da ordem de Cr\$30 - 50.0 milhões.

O que fazer com a casca ?

Casca seca é um bom combustível; 4 toneladas de casca com 30% de umidade corresponde a uma tonelada de óleo; 4 toneladas de casca é o produto de 90 m³ de madeira sem casca.

Uma fábrica de 300.000 ton/ano de celulose pode produzir uma quantidade de casca que corresponde a 18.000 toneladas de óleo combustível, valendo hoje Cr\$4,5 milhões.

Adicionando a este valor a economia de operação em comparação com os métodos atuais de descascamento manual, economia esta avaliada em Cr\$8,00 por m³ de madeira, ou seja, Cr\$12,0 milhões para uma fábrica de 300.000 t/ano, existem evidentemente condições econômicas, porém não brilhantes, para uma instalação de descascamento a seco.

Casca úmida, ao redor de 40% de substância seca, é um péssimo combustível. Tem que sofrer um desaguamento mecânico antes de queimar e mesmo assim rende pouco ou nada de vapor numa caldeira.

Estocando a casca úmida, ela se transforma lentamente em humos. Este processo pode ser acelerado adicionando bactérias adequadas. O humos assim produzido, completo ou não com fertilizante inorgânico, é um ótimo adubo, dependendo do seu aproveitamento numa organização adequada de comercialização.

Esterco de gado e aves transformam também a casca rapidamente em humos. Casca seca, preferivelmente triturada, serve assim como cana para estâbulos ou criação de aves. Este uso é especialmente interessante quando o descascamento for feito fora da fábrica e, em diversos lugares, para poder aproveitar a casca dentro de um raio razoável.

A casca serve também para fazer chapas aglomeradas, um produto cuja aplicação aumenta dia a dia.

Isto seria, talvez, o uso mais interessante para fábricas de grande porte, representando porém um investimento comparável a uma grande fábrica de papel.

Conclusões

A casca representa um dos problemas mais difíceis na fabricação de celulose de eucalipto. A maior esperança é de conseguir cozinhar a madeira com a casca, o que não oferece grandes problemas em digestores descontínuos mas, por enquanto, não foi possível em digestores contínuos.

Enquanto for necessário descascar a madeira, recomenda-se fazer um profundo estudo visando racionalizar o processo de descascamento manual.

Qualquer que seja o processo mecânico de descascamento o investimento para sua instalação é caro e não muito atrativo economicamente.

A fabricação de chapas aglomeradas parece ser o aproveitamento mais promissor da casca.

EUCALYPTUS PARA A FABRICAÇÃO DE CELULOSE

Antanas Stonis (*)

As folhas verdes das árvores e plantas, com a ajuda da luz do sol, constroem as moléculas de carboidratos e de outras substâncias orgânicas. Este complicadíssimo processo chama-se fotossíntese. As moléculas de glucose, manose ou pentosas, com a ajuda da água - seiva - são transportadas para várias partes da árvore e ali polimerizadas em grandes moléculas, orientadas em micelas e juntadas em fibrilas, entram na formação da fibra como parte principal — chamada celulose.

A celulose é produzida pela natureza. E a natureza torna-se mais generosa se o homem, usando prudência, ciência e amor, se dispõe a ajudá-la neste sentido, cuidando para que não falte para a planta luz, água e sais minerais.

A árvore que recebe os cuidados necessários, principalmente durante os primeiros anos de sua vida, já depois de alguns anos pode ser usada pelo mesmo homem para a fabricação de celulose, ou a outros fins mais nobres, como matéria prima para a fabricação de móveis, materiais de construção etc.

A fábrica de celulose não produz celulose, mas extrai das árvores ou plantas as fibras celulósicas, dissolvendo as substâncias que as mantêm ligadas na árvore, ou seja, a lignina.

A celulose é um produto quimicamente puro. Nas fábricas de celulose não é possível obter a celulose pura - ela é sempre acompanhada de substâncias orgânicas e inorgânicas que entram na estrutura da madeira. Por isso, o produto obtido na fábrica de celulose, chamado polpa, pode ter uma quantidade maior ou menor de impurezas.

As árvores são divididas em dois grupos principais: folhosas e coníferas. As folhosas, como o eucalipto, apresentam fibras curtas - 0,6 a 1,5 mm de comprimento, com es

(*) Cia. Suzano de Papel e Celulose.

pressão e composição química variáveis.

As árvores folhosas possuem uma porcentagem razoavelmente alta de celulose — 45 a 48%, uma baixa porcentagem de lignina — 20 a 25% e uma alta porcentagem de hemiceluloses.

Por exemplo:

Composição Química dos Eucaliptos

	<i>E. Saligna</i>	<i>E. Delegatensis</i>
Celulose	46 - 50%	48%
Pentosanas	14 - 16%	14 - 18%
Lignina	23 - 25%	25 - 28%

Conforme demonstrado pela análise química, quanto maior o teor de celulose na madeira, maior será o rendimento. Por exemplo:

E. Globulus

<u>Teor de celulose</u>	<u>Rendimento</u>
42%	50%
44%	51%
46%	53%
48%	55%
50%	56,5%
52%	58%

O teor de celulose das coníferas é igual ao das folhosas, mas o teor de lignina é mais alto. Em algumas espécies de coníferas a quantidade de lignina alcança 35% e as hemiceluloses são compostas não de pentosanas mas sim de hexosanas — como manose, galactose e arabinose. Normalmente o extrato de álcool-benzol é mais alto nas coníferas.

As variações de composição química e morfológica acontecem não somente entre várias espécies, mas também na mesma árvore, conforme mostra a tabela abaixo.

Espécie	Tipo de madeira	Celulose %	Pentosanas	Lignina
Abeto	Normal	41	10	27
	Compressão	35	8	39
Betula	Normal	40	30	20
	Tensão	55	15	17
<i>Eucalyptus</i>	Normal	44	20	25
<i>Goniocalyx</i>	Tensão	57	11-17	10
	Compressão	37	31	26

Para a obtenção de polpa, a madeira é submetida a um dos muitos processos químicos de cozimento e, se necessário, a um branqueamento. O teor de lignina, que no caso do eucalipto é de aproximadamente 25%, fica reduzido a 2-4% após o processo de cozimento, permitindo a fácil separação das fibras, dispensando o emprego da ação mecânica. Durante o cozimento dissolve-se não só a lignina, mas também parte das hemiceluloses e também parte da celulose.

O rendimento do cozimento depende de muitos fatores, como por exemplo o grau de cozimento, medido pelo número de permanganato — Kappa — ou índice Roe; tempo de cozimento; quantidade de álcali usada etc.

A polpa produzida na fábrica de celulose é a matéria prima usada para a fabricação de papel. É sempre dada toda a atenção para que o papel produzido seja da melhor qualidade; se o mesmo é papel branqueado ou não branqueado; ou ainda com respeito às suas características físico-mecânicas, brancura, impressibilidade, opacidade etc.

A obtenção de uma polpa da melhor qualidade possível depende dos seguintes fatores:

- a) Espécie da madeira usada para a fabricação da polpa — com madeira de eucaliptos pode-se obter uma polpa de boa quali-

dade ou superior à de madeiras de matas mistas ou bagaço.

- b) Qualidade da madeira — deve ser usada madeira fresca, em cavacos cortados com espessura de 2 - 4 mm. Madeira apodrecida, muito velha, produz uma polpa com baixa resistência.
- c) Processo usado para cozimento — as polpas de madeira dura feitas com o processo sulfito não tem a mesma resistência que aquelas feitas através do processo sulfato. Também para certos papéis é mais adequado o processo sulfito neutro.
- d) Grau de cozimento — a lignina protege a camada celulósica não só na árvore mas também durante o cozimento. Quando a deslignificação é excessiva, por exemplo, o número de permanganato é de 8 ou 10, já há uma forte degradação da celulose durante o cozimento e torna-se difícil obter um papel de alta resistência.
- e) Branqueamento — durante o branqueamento podem ser mantidas as mesmas características físico-mecânicas que foram obtidas no cozimento, ou pode-se destruir totalmente a polpa, seja por uma sequência de branqueamento não mais adequada, seja por uma má aplicação de reativos. Quando o branqueamento é terminado com hipoclorito de cálcio ou sódio e quando se tenta obter um alto índice de brancura, sempre ocorre degradação da celulose, o que resulta na produção de um papel fraco. E a degradação pode ser medida determinando-se a viscosidade da polpa. Sempre que há degradação da polpa, ocorre também grande reversão da brancura.
- f) Secagem — é sempre recomendável fazer o papel diretamente de polpa úmida. Secando-se a polpa, sempre ocorre a perda de resistência e a qualidade de um papel feito de polpa seca é inferior à de um papel feito de polpa úmida, sendo esta qualidade também diferente.
- g) Refinação — esta operação depende da fábrica do papel. Mas para cada tipo de polpa e para cada tipo de papel deve haver uma refinação adequada, para se obter melhores resultados.

h) Fabricação do papel — as características físico - mecânicas do papel produzido em uma máquina de papel dependem de muitos fatores, como por exemplo o tipo de refinadores, grau de refinagem, carga, colagem etc.

Normalmente os eucaliptos já com 7 - 8 anos de idade são usados para a fabricação de celulose. Mas também as árvores mais jovens, com 3 ou 5 anos, também podem ser aproveitadas com ótimos resultados.

Estudos foram feitos por Ronaldo A. Guedes Pereira, comparando *Eucalyptus saligna* de 5 e 7 anos com *Eucalyptus Alba* de 5 e 7 anos e *E. Grandis* de 7 anos. Os rendimentos obtidos foram muito altos — 54 - 55%. A diferença de rendimentos é tão pequena que não se pode julgar a favor da madeira de 5 anos ou de 7 anos.

As resistências de todas as polpas são excelentes. De acordo com os resultados apresentados, observa-se uma pequena diferença entre o *Eucalyptus Saligna* de 5 anos e o de 7 anos. E esta diferença é a favor de eucalipto de 5 anos, ou melhor, podemos dizer que o *E. Saligna* de 5 anos não é jovem demais para ser usado na fábrica de celulose.

Na Austrália foi feita a comparação de várias idades de eucaliptos. De acordo com estes estudos, chegou-se às seguintes conclusões:

- a) Aumentando-se a idade, aumenta-se o peso específico.
- b) Aumentando-se a idade, diminui-se o rendimento.
- c) Aumentando-se a idade, diminui-se a resistência da polpa produzida.

As espécies de eucaliptos com menor densidade produzem polpas com um rendimento mais alto e com melhores características físico-mecânicas. O limite de densidade máximo para polpa de boa qualidade deve ser 0,70. As madeiras mais duras podem ser usadas, mas para os papéis de segunda qua

lidade. Também podem ser esperados problemas no cozimento devido a dificuldades de penetração de lixívias durante o cozimento.

A mesma espécie pode variar de densidade, dependendo do lugar, idade e parte da árvore. De acordo com M.H.M. Brasil e M. Ferreira, a densidade média de *E. Grandis*, *E. Alba* e *E. Saligna* em Mogi Guaçu é de 0,542 e destas mesmas espécies em Itupeva é de 0,460.

Segundo os trabalhos publicados pelo "Economic Commission for Europe", de 1970, relativos ao *E. Globulus*, de Portugal, foram observadas variações de densidade entre 0,450 e 0,700.

A densidade média do *Eucalyptus Globulus* é de 0,560. Com esta densidade, as características físico-mecânicas são muito boas, mas logo começam a piorar quando aumenta a densidade.

Várias espécies usadas para a fabricação de polpa estão dando muito bons resultados, tanto na produção de madeira por hectare plantado como nas excelentes características físico-mecânicas apresentadas pelas polpas produzidas destas espécies. As espécies mais destacadas de eucaliptos para a fabricação de polpas são o *E. Saligna*, o *E. Alba* e o *E. Grandis*. Muitas outras espécies devem ser testadas e selecionadas para as várias regiões do Brasil.

Certas espécies desenvolvem-se melhor nas áreas quentes e úmidas, como por exemplo o *E. Deglupta*, enquanto outras espécies, como o *E. Saligna* e o *E. Alba*, adaptam-se melhor às zonas subtropicais.

Deve ser testada mais uma espécie de eucalipto para as áreas montanhosas, com quantidade de chuvas entre 1.200 - 2.000 mm por ano: o *Eucalyptus Regnans*, que dá excelentes resultados na Austrália, mas que até agora ainda não encontrou adaptação no Brasil.

O Brasil tem um programa ambicioso para a sua produção de celulose, tanto para consumo doméstico como pa

ra sua exportação.

Plantando as espécies mais adequadas de eucaliptos e aproveitando do melhor modo possível a madeira produzida para a fabricação de celulose, o Brasil tornar-se-ã um dos maiores produtores de celulose antes do fim deste século.

BIBLIOGRAFIA

- WILFRED A. CÔTE - Cellular Ultrastructure of Woody Plants - 1965.
- GUNNAR GAVELIN - Science and Technology of Mechanical Pulp manufacture, 1966.
- RUDOLF SIEBER - Die Chemist-Technischen Untersuchungs - Methoden der Zellstoff und Papier Industrie.
- SVEN A. RYDHOLM - Pulping Processes, 1965.
- ROBERT R.H. HIGHAM - A Handbook of Papermaking.
- ENRICO GIANNI - L'Industria della Carta, 1961.
- N.J. NIKITIN - The Chemistry of Cellulose and Wood, 1966.
- W.E.HILLIS - Properties of Eucalypt woods of importance to the pulp and paper industry - Appita.
- A.J.WATSON and H.E.DADSWELL - Influence of Fiber Morphology on Paper Properties - Appita - Maio de 1964.
- A.J.WATSON and W.E.COHEN - Pulping of Eucalyptus - Appita, vol. 22, nº 4.
- W.E.HILLIS - The Contribution of Polyphenolic Wood Extractives to Pulp Colour - Appita, Setembro de 1969.
- ANTANAS STONIS - Considerações sobre Cozimento de Eucalipto pelo Processo Sulfato em Relação ao Tamanho de Cavacos - "O Papel".

M.A.M.BRASIL e M.FERREIRA - Variação de Densidade Básica da Madeira de *Eucalyptus Alba* Reinw, *E. Saligna* Smith e *E. Grandis* Hillex-Maiden aos 5 anos de idade em função do local e do espaçamento.

J.W.SIMÕES , R.M.SPELK, G.E.SPELK e H.H.MELLO - Adubação Mineral de Eucalipto.

FRANCISCO MATTOS MAZZEI e WILHELM OVERBECK - Investigação da Influência da idade nas características físicas e químicas do lenho e das pastas celulósicas de *Eucalyptus Saligna* — IPT — Publicação nº 758.

H.G.HIGGINS - Technical Assessment of Eucalyptus Pulps in the Paper Making Economy - Appita, Maio de 1970.

H.H. MYBURGH - Kraft Pulping of Eucalyptus in South Africa - Appita, Setembro de 1967.

RONALDO A. GUEDES PEREIRA - Celulose sulfato de madeira de espécies de Eucalipto ABCP, 1969.

PROCESSOS MAIS INDICADOS DE POLPAÇÃO

Dr. Gunnar Krogh (*)

Este trabalho não pretende ser científico e nem revelar qualquer novidade técnica. Foi elaborado em caráter exclusivamente informativo para aqueles, participantes deste seminário, cujo trabalho não está ligado diretamente à fabricação de celulose.

Os processos de polpação são divididos nas seguintes categorias:

- Processos de pasta mecânica
- Processos de pasta mecano-química
- Processos de pasta semiquímica
- Processos de pasta química

Processos de pasta mecânica

No processo clássico defibra-se a madeira prensando-a longitudinalmente contra a periferia de uma pedra esmeril rotativa.

A pasta assim obtida, com praticamente 100% de rendimento sobre a madeira, é o ingrediente básico na fabricação de papel jornal, que exige uma matéria prima a mais barata possível, porém com certas características essenciais, como por exemplo alta opacidade.

Na Austrália usa-se eucalipto neste processo clássico de fazer pasta mecânica, obtendo-se um produto aceitável para a fabricação de papel jornal. Mas o Eucalipto usado é de florestas naturais de centenas de anos de idade.

Utilizando-se Eucalipto de 5 - 10 anos, produz-se somente "farinha" sem qualquer resistência física.

Nos últimos 10 - 15 anos foi desenvolvido um novo processo baseado no defibramento de cavacos de madeira em refinadores de discos. Neste processo há menos estrago físico-

(*) Cia. Suzano de Papel e Celulose.

co das fibras, resultando numa pasta mais resistente. Eucalipto "novo" defibrado assim é perfeitamente aproveitável para a fabricação de papel jornal ou para qualquer outra finalidade em substituição de pasta mecânica normal.

Hã, porém, um inconveniente: o custo.

O defibramento com pedras necessita de 1.000 a 1.400 kWh por tonelada de pasta.

O defibramento de cavacos necessita de 1.500 a 2.000 kWh/ton, não incluída a fabricação de cavacos.

A diferença — 500 kWh/ton — vale, hoje, Cr\$80 - 100,00, um tributo muito pesado para um produto que, pela sua natureza, tem que ser barato.

Além destes problemas puramente mecânicos, hã também considerações químicas. É muito difícil obter, em condições práticas, uma madeira de eucalipto tão branca que a pasta produzida não exija branqueamento. Este, feito com hidrosulfito de sódio ou zinco, peróxido ou hipoclorito, representa outro ônus sobre o produto.

O mais recente desenvolvimento é a pasta termomecânica. A refinação dos cavacos é feita sob pressão e a uma temperatura de até 120°C. O consumo de energia elétrica cai um pouco e a resistência da pasta aumenta substancialmente, permitindo o emprego de porcentagens mais altas da pasta mecânica e tanto menos de pasta química na fabricação de papel jornal, abrindo assim melhores perspectivas para o emprego de eucalipto.

Uma variante da pasta mecânica é a pasta marrom. Neste processo, as toras são cozidas com água em autoclaves numa temperatura de 120 a 170° e depois defibrada em defibradores de pedra.

O consumo de energia é relativamente baixo, — 500 até 800 kWh/ton — e o produto bem mais resistente do que a pasta mecânica comum. Mas a cor é de um marrom forte, imbranqueável. Usa-se esta pasta para certos tipos de papel

de embrulho. Esta indústria fabricava pasta marrom durante muitos anos, usando eucalipto.

Processos de pastas mecano-químicas

Impregnando a madeira a frio ou a temperaturas não ultrapassando 120°C com certos produtos químicos antes do defibramento mecânico é possível, com menor consumo de energia elétrica, obter uma pasta com resistência substancialmente melhorada. Conforme a intensidade do pretratamento, a pasta perde porém, em maior ou menor grau a sua opacidade, o que limita o seu emprego para a fabricação de papel jornal. É, porém, uma excelente matéria prima para outros tipos de papel, como por exemplo o papel higiênico.

O processo soda fria é um destes métodos. Cavacos de madeira são impregnados com 5 - 8% de soda na temperatura do ambiente e depois defibrados em refinadores.

A Klabin, do Paranã, está preimpregnando toras de eucalipto num banho de soda antes do defibramento em máquina de pedra, obtendo assim uma pasta que substitui uma boa parte da pasta mecânica de fibra longa, normalmente usada na sua fabricação de papel jornal.

Uma preimpregnação da madeira com sulfito neutro no processo termo-mecânico contribui para reduzir o consumo de energia elétrica, conserva a cor e aumenta a resistência.

O produto é usado principalmente em papel barato para escrever, por exemplo, para cadernos escolares e em papel para livros baratos.

Estes são somente alguns exemplos de uma infinidade de possibilidades de variar os processos mecano-químicos.

Processos semiquímicos

Nos processos químicos, que serão abordados em seguida, dissolve-se a lignina da madeira até um ponto que permita ao produto defibrar-se após o cozimento, sem ajuda mecânica.

Nos processos semiquímicos, porém, a deslignificação do cozimento é incompleta, necessitando-se um defibramento em refinadores. O rendimento varia, conforme os produtos químicos usados e o grau de deslignificação desejado, entre 60 e 85%.

Os processos foram desenvolvidos visando especialmente à obtenção de produtos baratos com alto rendimento e boa rigidez, mas de menor resistência, usados especialmente para a fabricação do miolo ondulado para papelão ondulado.

O reagente químico mais usado é sulfito neutro — sulfito de sódio, neutralizado com carbonato de sódio. Mas, pode-se usar também os processos clássicos sulfato ou sulfito. Recentemente vimos em literatura técnica uma recomendação no sentido de se usar "lixívia verde", ou seja, carbonato de sódio em mistura com sulfeto de sódio, um produto intermediário no processo de recuperação dos produtos químicos no processo sulfato. O eucalipto, bem como outras espécies folhosas, aproveita-se perfeitamente nos processos semiquímicos.

Processos químicos

Os clássicos são os denominados sulfito e sulfato.

Em ambos cozinha-se a madeira reduzida previamente a cavacos.

No processo sulfito usa-se como reagente deslignificador bisulfito de cálcio, sódio, magnésio ou amônio.

No cozimento, executado em temperaturas variáveis de 130 a 160°C, dissolve-se a maior parte da lignina da madeira, e infelizmente também uma parte das substâncias

celulósicas. O rendimento, dependendo da composição da madeira e do grau de deslignificação, varia de 50 a 60%.

O produto conserva relativamente bem a cor da madeira, permitindo seu uso sem branqueamento em diversos tipos de papel, como por exemplo o papel jornal.

A celulose sulfito é fácil de branquear a altos graus de alvura.

A resistência da celulose é relativamente baixa devido à hidrólise parcial que as substâncias celulósicas sofrem durante o cozimento.

Assim, é impossível usar celulose sulfito de eucalipto, sem mistura com fibras mais resistentes, na fabricação de papéis que exigem um mínimo de resistência.

Sendo um produto muito barato, o bisulfito de cálcio era usado quase exclusivamente até algumas décadas atrás. A lixívia usada, contendo em solução 40 - 50% da madeira empregada, era despejada nos efluentes.

Hoje em dia isto não mais é praticável devido aos efeitos poluidores da lixívia.

Concentrar e incinerar a lixívia é difícil devido às fortes tendências de incrustações, e também oneroso, uma vez que os produtos químicos recuperáveis tem pouco valor e o calor regenerado mal compensa aquele gasto na concentração.

Por isso foram introduzidas, nas últimas décadas, as bases solúveis como sódio, magnésio ou amônio, que apesar de serem mais caros, são economicamente recuperáveis e não causam dificuldades na concentração.

Uma boa parte da fabricação mundial de celulose é ainda baseada no processo sulfito, justificada pelas qualidades especiais que oferece a celulose fabricada conforme este processo, mas a tendência do desenvolvimento é definitivamente a favor do processo sulfato.

No País, o processo sulfito representa somente uma pequena parcela da produção.

No processo sulfato, para a deslignificação usa-se uma solução de soda cáustica com porcentagens variáveis de sulfeto de sódio.

O cozimento é feito com temperaturas de 160° a 175°C, com rendimentos que variam de 45 a 55%, dependendo da composição química da madeira e do grau de deslignificação de sejável.

A massa cozida tem uma cor marrom forte e pode ser branqueada a altos graus de alvura, porém com maior consumo de reagentes do que a celulose sulfito.

A recuperação dos produtos químicos usados no cozimento é uma necessidade econômica. Esta recuperação consiste em:

- a) Separação da lixívia e as fibras cozidas por lavagem.
- b) Engrossamento da substância seca da lixívia por evaporação.
- c) Priólise é a queima da lixívia engrossada. Na priólise gaseificam-se as substâncias orgânicas e derretem-se os sais de sódio, que são extraídos do forno, enquanto os gases quei mam-se numa caldeira, gerando vapor. Para compensar pelas perdas de sódio no processo, adiciona-se sulfato de sódio à lixívia antes do forno. No processo de priólise, executado em ambiente redutivo, o sulfato trans forma-se em sulfeto, derretendo-se junto com os outros sais de sódio. Estes sais derretidos dissolvem-se em água, formando a chamada lixívia verde, que consiste de carbonato e sulfeto de sódio.
- d) Tratando esta solução com cal virgem, o carbonato de sódio transforma-se em soda cáustica e o cal em carbonato de cálcio, insolúvel. Este decanta-se e separa-se para posteriormente ser recalci

LORETTA
P. E. F.
Caixa Postal, 9 - ESALQ
Piracicaba - S. P.

nado e reusado, enquanto que a soda cáustica e o sulfeto de sódio voltam a ser usados para o cozimento.

Em princípio, o cozimento pode ser feito sem sulfeto de sódio, resultando o processo, porém, num produto de inferior resistência e de menor rendimento.

Celulose sulfato ou "kraft" é de superior resistência física em comparação com qualquer outro processo. A massa não branqueada usa-se para papéis que exigem grande resistência, como por exemplo papel para sacos multifoliados, para sacos de supermercados, para capas de papel ondulado e para outras embalagens de alta qualidade.

O produto branqueado pode ser usado em praticamente qualquer tipo de papel.

Outra vantagem do processo sulfato é que ele pode ser usado para deslignificar praticamente qualquer matéria prima, enquanto que o processo sulfito tem as suas limitações.

Celulose sulfato de eucalipto, branqueada ou não, é uma excelente matéria prima para a fabricação de quase todos os tipos de papel, perdendo para celulose de madeiras coníferas só na fabricação de papéis que exigem alta resistência a rasgo, boa resistência em estado úmido e boa porosidade.

Estes são os processos básicos de fabricação de celulose química. Existem outros também, bem como combinações de cozimentos ácidos e alcalinos ou cozimentos alcalinos em dois estágios etc.

O desenvolvimento mais recente é o emprego de oxigênio para deslignificação em combinação com sulfito ou sulfato.

O processo de branqueamento de celulose química consiste normalmente de uma deslignificação complementar com cloro seguido por uma extração alcalina e depois o branqueamento, propriamente dito, feito com reagentes oxidantes como hipoclorito de sódio ou cálcio, dióxido de sódio e/ou peróxido

de hidrogênio ou sódio em um ou diversos estágios, dependendo do grau de facilidade com que a celulose se deixa branquear e da alvura desejada.

Sem entrar em maiores detalhes, esperamos que este resumo concentrado sobre os processos mais usados de polpação corresponda à finalidade prevista, ou seja, a de dar àqueles que lidam com a madeira uma visão do que acontece com a sua madeira quando entregue nas fábricas e quais os fatores que favorecem ou limitam o seu aproveitamento.