

UTILIZAÇÃO DA MADEIRA COM CASCA NA PRODUÇÃO  
DE CELULOSE SULFATO DE *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden  
E *Pinus caribaea* Mor. var. *hondurensis* Barr. e Golf.

JOSÉ OTAVIO BRITO

LUIZ ERNESTO GEORGE BARRICHELO  
- ORIENTADOR

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

PIRACICABA  
Estado de São Paulo - Brasil  
julho, 1978

À

OTÁVIO

TEREZINHA

MARIA JOSÉ, *minha família*

e

ADELINA, *minha noiva*

DEDICO

*Homenagem especial ao amigo sempre presente*

Prof. Dr. LUIZ ERNESTO GEORGE BARRICHELO

## AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Dr. Luiz Ernesto George Barrichelo do Departamento de Silvicultura - ESALQ - USP, pela orientação desde o início de nossa formação científica e especialmente na realização desse trabalho;

- Ao Prof. Dr. Helládio do Amaral Mello, Chefe do Departamento de Silvicultura - ESALQ - USP, pela oportunidade e incentivo constante;

- Ao Prof. Dr. Hilton Tadeu Zarate do Couto do Departamento de Silvicultura - ESALQ - USP, e ao Eng<sup>o</sup> Ftal. Valter João Diehl, pelo auxílio nas análises estatísticas;

- Ao Eng<sup>o</sup> Celso Edmundo Bocheti Foelkel, da Celulose Nipo-Brasileira S/A., pelas sugestões e auxílio no início desse trabalho;

- À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela concessão de uma Bolsa de Mestrado nível II;

- À Champion Papel e Celulose S/A. e à Ripasa S/A. - Celulose e Papel, pelas facilidades materiais;

- Aos colegas do Departamento de Silvicultura - ESALQ - USP e do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, bolsistas e funcionários, que direta ou indiretamente procuraram colaborar para a concretização desse trabalho;

- Aos funcionários e bolsistas da Seção de Química, Celulose e Papel do Departamento de Silvicultura - ESALQ - USP, pela colaboração du-

rante o desenvolvimento desse trabalho;

- A todos aqueles que conosco colaboraram, e que involuntariamente tiveram seus nomes aqui omitidos,

*Nossos sinceros agradecimentos.*

## ÍNDICE

	<u>página</u>
1. RESUMO .....	1
2. INTRODUÇÃO .....	3
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	5
3.1. Características da casca .....	5
3.2. Uso da casca como fonte de fibras para a fabricação de celulose e papel. Vantagens e desvantagens .....	11
3.3. As experiências do uso da casca na obtenção de celulose e papel .....	14
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	23
4.1. Material .....	23
4.2. Métodos .....	24
4.2.1. Coleta e amostragem da madeira e da casca .....	24
4.2.2. Caracterização da madeira e da casca .....	25
4.2.2.1. Teor da casca .....	25
4.2.2.2. Densidade básica .....	25
4.2.2.3. Análises químicas quantitativas .....	25
4.2.3. Cozimentos .....	26
4.2.4. Processamento após cozimento .....	28
4.2.4.1. Lavagem .....	28
4.2.4.2. Desfibramento .....	28
4.2.4.3. Depuração .....	29
4.2.4.4. Prensagem .....	29

4.2.4.5. Determinação de rendimentos dos cozimentos e teores de rejeitos .....	29
4.2.4.6. Mistura das celuloses não-branqueadas (amostra composta) e armazenamento .....	30
4.2.5. Análises químicas das celuloses não-branqueadas ...	30
4.2.6. Determinação das propriedades óticas das celuloses não-branqueadas e branqueadas .....	31
4.2.7. Análises anatômicas das fibras de celuloses não-branqueadas .....	31
4.2.8. Determinação das propriedades físico-mecânicas das celuloses não-branqueadas e branqueadas .....	32
4.2.8.1. Refinação das celuloses .....	33
4.2.8.2. Formação das folhas de testes .....	33
4.2.8.3. Acondicionamento das folhas .....	34
4.2.9. Branqueamento das celuloses de <i>E. grandis</i> .....	34
4.2.9.1. Esquema e procedimento .....	34
4.2.9.2. Determinação de rendimentos dos branqueamentos .....	36
4.2.9.3. Mistura das celuloses branqueadas e armazenamento .....	37
4.2.10. Cálculo do rendimento médio final em celulose branqueada .....	37
4.2.11. Análises químicas das celuloses branqueadas de <i>E. grandis</i> .....	37
4.2.12. Delineamento experimental .....	38

5. RESULTADOS .....	40
5.1. Celulose de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> .....	40
5.1.1. Cozimentos .....	40
5.1.1.1. Número de permanganato .....	40
5.1.1.2. Rendimento em celulose e teor de rejeitos.	40
5.1.2. Análises químicas das celuloses não-branqueadas de <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> .....	44
5.1.3. Propriedades óticas das celuloses não-branqueadas de <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> .....	47
5.1.4. Análise anatômica das fibras das celuloses não-branqueadas de <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> .....	49
5.1.5. Propriedades físico-mecânicas da celulose não-branqueada de <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> .....	53
5.1.5.1. Peso específico aparente .....	53
5.1.5.2. Porosidade .....	54
5.1.5.3. Resistência à dobras .....	55
5.1.5.4. Resistência ao rasgo .....	56
5.1.5.5. Resistência ao arrebentamento .....	57
5.1.5.6. Resistência à tração .....	58
5.2. Celulose de <i>E. grandis</i> .....	59
5.1.2. Cozimentos .....	59
5.1.2.1. Número de Permanganato .....	59
5.1.2.2. Rendimento em celulose e teor de rejeitos.	59
5.2.2. Análises químicas das celuloses não-branqueadas de <i>E. grandis</i> .....	63

5.2.3. Propriedades óticas das celuloses não-branqueadas de <i>E. grandis</i> .....	66
5.2.4. Análise anatômica das fibras das celuloses não-branqueadas de <i>E. grandis</i> .....	68
5.2.5. Propriedades físico-mecânicas da celulose não-branqueada de <i>E. grandis</i> .....	72
5.2.5.1. Peso específico aparente .....	72
5.2.5.2. Porosidade .....	73
5.2.5.3. Resistência a dobras .....	74
5.2.5.4. Resistência ao rasgo .....	75
5.2.5.5. Resistência ao arrebatamento .....	76
5.2.5.6. Resistência à tração .....	77
5.2.6. Branqueamento da celulose de <i>E. grandis</i> .....	78
5.2.7. Rendimento médio final em celulose branqueada de <i>E. grandis</i> .....	79
5.2.8. Análises químicas das celuloses de <i>E. grandis</i> .....	79
5.2.9. Propriedades óticas das celuloses branqueadas de <i>E. grandis</i> .....	82
5.2.10. Viscosidade da celulose branqueada de <i>E. grandis</i> .....	84
6. DISCUSSÃO .....	85
6.1. <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> .....	85
6.1.1. Caracterização da madeira e da casca .....	85
6.1.2. Produção de celulose .....	86
6.1.3. Caracterização das celuloses não-branqueadas .....	87
6.1.3.1. Análises químicas quantitativas .....	87

6.1.3.2. Propriedades óticas .....	87
6.1.3.3. Análises anatômicas das fibras .....	88
6.1.3.4. Propriedades físico-mecânicas .....	88
6.2. <i>Eucalyptus grandis</i> .....	89
6.2.1. Caracterização da madeira e da casca .....	89
6.2.2. Produção de celulose .....	90
6.2.3. Caracterização das celuloses não-branqueadas .....	91
6.2.3.1. Análises químicas quantitativas .....	91
6.2.3.2. Propriedades óticas .....	91
6.2.3.3. Análise anatômica das fibras .....	91
6.2.3.4. Propriedades físico-mecânicas .....	92
6.2.4. Branqueamento das celuloses .....	93
6.2.4.1. Rendimentos dos branqueamentos e em celulo se branqueada .....	93
6.2.4.2. Caracterização das celuloses branqueadas .	93
6.2.4.2.1. Análises químicas quantitativas	93
6.2.4.2.2. Propriedades óticas .....	94
6.2.4.2.3. Viscosidade .....	94
7. CONCLUSÕES .....	95
7.1. <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> .....	95
7.2. <i>E. grandis</i> .....	97
8. SUMMARY .....	100
9. LITERATURA CITADA .....	102
APÊNDICE .....	109

## 1. RESUMO

No presente trabalho foram realizados testes de produção de celulose sulfato com *Pinus caribaea* Mor. var. *hondurensis* Barr. e Golf. e *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden utilizando-se madeira não-descascada e descascada. Estes testes revelaram que a presença de 21% de casca em peso na madeira não-descascada em comparação com a madeira descascada de *P. caribaea* var. *hondurensis* resultaram em: 1. aumento no consumo de álcali ativo durante os cozimentos; 2. diminuição no rendimento em celulose por carga de digestor; 3. nenhuma alteração no conteúdo de rejeitos da celulose; 4. nenhuma alteração na composição química da celulose; 5. nenhuma alteração na morfologia das fibras na celulose; 6. nenhuma alteração no peso específico aparente, porosidade e resistência à dobras da celulose; 7. aumento da resistência à tração e arrebitamento; 8. diminuição na resistência da celulose ao rasgo; 9. diminuição na alvura e 10. aumento na opacidade da celulose.

A presença de 11% de casca em peso na madeira não-descascada

em comparação com a madeira descascada de *E. grandis* resultou em: 1. aumento no consumo de álcali ativo durante os cozimentos; 2. diminuição no rendimento em celulose por carga de digestor; 3. nenhuma alteração no conteúdo de rejeitos da celulose; 4. aumento no teor de cinzas da celulose; 5. nenhuma alteração na morfologia das fibras na celulose; 6. nenhuma alteração no peso específico aparente e resistência à tração da celulose; 7. aumento da porosidade, resistência a dobras, resistência ao rasgo e resistência ao arrebatamento da celulose; 8. diminuição da alvura e 9. aumento na opacidade da celulose. Para a celulose branqueada de *E. grandis* obtida de madeira não-descascada houve: 1. nenhuma alteração no rendimento de branqueamento; 2. nenhuma alteração na composição química da celulose; 3. diminuição na alvura; 4. aumento na opacidade da celulose e 5. nenhuma alteração da viscosidade da celulose.

## 2. INTRODUÇÃO

A indústria de celulose e papel vem sofrendo nos últimos anos, uma série de transformações com a aplicação de técnicas mais modernas e sofisticadas, visando o aumento quantitativo e sobretudo qualitativo de produção. A par disso, outra preocupação tem sido a da utilização de outras fontes de matérias-primas fibrosas, além daquelas tradicionalmente consagradas pelo uso. Materiais que até pouco tempo eram tidos como não-satisfatórios, estão atualmente despertando grande interesse no setor e sendo cuidadosamente estudados.

Com relação à madeira, com o encarecimento das operações de exploração florestal aliada a crescente escassez de fibras, atenção especial tem sido dada ao uso de resíduos florestais pela indústria de celulose, com destaque para a casca, serragem, ponteiros, ramos, folhas e raízes. Esta utilização inclusive introduziu um conceito já em desenvolvimento que é o da utilização integral da árvore.

No caso particular da casca, a sua utilização para a produ-

ção de celulose e papel seria bastante significativa não só do ponto de vista do aumento da disponibilidade de matéria-prima, como evitaria a prática do descascamento, uma operação onerosa quando feita manualmente. Na verdade, a utilização da madeira com casca é um assunto controvertido em nosso meio. Inúmeras tentativas tem sido feitas pelas indústrias que produzem celuloses químicas, principalmente visando a economia de mão-de-obra no descascamento manual. Inclusive, algumas empresas estão produzindo na atualidade celuloses com uma certa porcentagem de madeira com casca. A par disto, novas indústrias no país estão sendo projetadas e construídas para consumirem madeira com 100% de casca.

Na verdade, a utilização da madeira com casca é ainda uma questão que tem suscitado dúvidas e controvérsias quanto aos parâmetros que possam estar sendo afetados em vista da produção de celulose e papel, havendo necessidade de vários estudos bem definidos que os possam caracterizar.

O presente estudo teve como objetivo avaliar alguns fatores julgados importantes na caracterização de celulose sulfato , quando obtida à partir de madeira não-descascada. Para o estudo em questão foram eleitos *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Pinus caribaea* Mor. var. hondrensis Barr. e Golf. como espécies mais difundidas em florestamento e reflorestamentos no país.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. Características da casca

O termo casca é comumente utilizado para designar o tecido exterior ao câmbio vascular que recobre o tronco e ramos dos vegetais.

Estudos anatômicos realizados sobre casca de espécies arbóreas mostram ter a mesma uma estrutura bastante complexa. Apesar dessa complexidade, os trabalhos realizados sobre a *anatomia e morfologia da casca* permitem generalizar uma estrutura mais ou menos definida. Essa generalização é feita à seguir, com base em trabalhos de autores como *MYER (1922)*, *ARCHER (1948)*, *HERGERT e KURTH (1952)*, *CHATTAWAY (1953)*, *HOSSFELD e KAUFERT (1957)*, *MILANEZ e BASTOS (1960)*, *BROWNING (1963)*, *HARKIN e ROWE (1971)* e *HOWARD (1971)*.

Como decorrência da generalização de uma estrutura anatômica e morfológica para a casca sua divisão em duas partes principais, quais sejam a *casca interna* e a *casca externa* é aceita sem restrições. A casca in-

terna inclui o tecido situado entre o câmbio e a camada mais recentemente formada da periderme, tendo função de transporte e armazenamento de assimilados. É composta por células de paredes finas, tais como *células crivosas*, *células do parênquima* e *células do esclerênquima*. As *células crivosas* são as estruturas de maior especialização da casca interna, sendo mais altamente diferenciadas nas angiospermas, onde formam os chamados tubos crivosos ao longo do eixo vertical da árvore. As *células parenquimatosas* aparecem normalmente agrupadas em fileiras ou camadas, sendo constituídas de paredes finas não-lignificadas. Em algumas espécies aparecem com depósitos de óleo, tanino ou amido. As *células do esclerênquima* constituem o tecido suporte da casca interna sendo constituídos por fibras e esclereídeos. As fibras são fusiformes, com paredes finas, podendo ser mais ou menos lignificadas e arranjadas em fileiras de modo regular. Os esclereídeos são células pequenas resultantes da lignificação da parede de células parenquimatosas; em muitas espécies formam camadas entre os tubos crivosos.

A casca externa normalmente é subdividida em dois tecidos quais sejam a *epiderme* e a *periderme*. A *epiderme* é o primeiro tecido da casca. Consiste em geral de uma única camada de células que por corresponder a parte mais externa do tronco, tem paredes celulares grossas e altamente cutinizadas. A *periderme* vem logo após a epiderme e tem como particularidade o fato de possuir um tecido gerador próprio que é o felogênio. Dessa maneira a periderme é constituída do *felema*, uma camada de células produzidas pelo felogênio para o lado da epiderme e do *feloderma*, produzido para o lado da casca interna. O felema consiste de células escamosas, dispostas em fileiras radiais, com paredes muito finas e raramente pontuadas. Essas células morrem num certo estágio e se enchem de ar. O felema pode permane-

cer com uma só camada de células ou então, desenvolver várias camadas, as mais externas morrendo e sendo comprimidas para o exterior formando o *ritidoma*.

O ritidoma na verdade não constitui um tipo separado de tecido mas, contém todo tipo de tecido morto da casca, não possuindo portanto capacidade de expansão com o crescimento do tronco, quebrando-se e apresentando rachaduras características.

*ERICKSON et alii* (1970) estudando a espécie *Populus grandidentata* quantificaram os teores dos tecidos da casca encontrando valores correspondentes em volume à 3% de felema, 17% de feloderma, os quais constituem basicamente a casca externa e, cerca de 80% de floema ou seja basicamente a casca interna.

Sob o aspecto da obtenção de celulose e papel, anatômica e estruturalmente falando-se, o interesse maior recai diretamente sobre as fibras que formam o tecido esclerenquimatoso, justamente o tecido suporte da casca. *FOELKEL et alii* (1977) afirmam que essa quantidade de fibras existentes na casca varia de 30 a 50% dependendo da espécie florestal.

Com relação às *propriedades físicas da casca*, destaque maior tem sido dado para a densidade e o poder calorífico.

Tal qual ocorre na madeira, a casca apresenta variabilidades na densidade mesmo dentro de uma árvore conforme afirmam *MURPHEY et alii* (1970). Inclusive, segundo *CHOW* (1977), a casca de um modo geral quase sempre apresenta esta variabilidade em maior escala do que a madeira.

Estudos realizados por *SMITH e KOZAK (1971)* revelaram uma variação na densidade da casca interna de coníferas situada na faixa de 0,31 a 0,45 g/cm<sup>3</sup>, enquanto que a densidade da casca externa esteve situada entre 0,34 a 0,70 g/cm<sup>3</sup>. Para o caso de folhosas, a densidade da casca interna situou-se entre 0,34 e 0,52 g/cm<sup>3</sup> enquanto que a densidade da casca externa situou-se entre 0,44 e 0,77 g/cm<sup>3</sup>.

No caso da casca, os fatores que mais influem sobre as variações da densidade são principalmente, a maior ou menor presença de material poroso como ritidoma resultando em densidades mais baixas, bem como o teor de extrativos que pode levar a uma super avaliação da densidade, principal-mente em coníferas, conforme afirma *WENZL (1970)*. Ainda com referência às propriedades físicas, este autor destaca o poder calorífico da casca como sendo bastante baixo. Afirma, por exemplo, que dez toneladas de casca com-pletamente seca, tem em média um poder calorífico equivalente à sete tonela-das de carvão mineral. O valor efetivo do poder calorífico da casca é cer-ca de 4.300 kcal/kg de material seco, dependendo da espécie, que é cerca da metade do valor correspondente ao óleo combustível, e cerca da metade do valor correspondente ao gás natural. *SPROUL (1969)* ainda com relação ao po-der calorífico da casca afirma ter o mesmo um valor muito próximo ao da ma-deira, chegando em alguns casos mesmo a ultrapassá-la, principalmente para algumas espécies do gênero *Pinus*, em razão de seus altos teores em lignina e terpenos.

Com relação à composição química da casca a sua avaliação de-pende de uma série de fatores, principalmente em vista da não-existência de um método específico de análise para a mesma. Na realidade o que ocorre é

a apresentação de diferentes métodos por diferentes pesquisadores, desde o fracionamento e análise do material até a apresentação dos resultados, sendo que, raramente esses resultados são diretamente comparáveis. Existe no entanto uma tendência em seguir-se na investigação química da casca, os procedimentos utilizados na investigação química da madeira.

Pesquisas sobre caracterização química da casca tem sido bastante desenvolvidas, com vários trabalhos podendo ser encontrados na literatura. Destaque-se os trabalhos desenvolvidos por *LEWIS et alii* (1944), *CRAM et alii* (1947), *SEGALL e PURVES* (1946), *HERGERT e KURTH* (1952), *MITCHELL* (1955), *HOSSFELD e KAUFERT* (1957), *BROWNING e SELL* (1957), *BEALL et alii* (1970) e *GRAY* (1971), os quais especificamente tratam da avaliação das características químicas da casca de diversas espécies arbóreas.

De um modo geral, celulose, holocelulose, substâncias p $\acute{e}$ cticas, lignina e extrativos são os principais componentes que tem sido encontrados nas paredes das células da casca. Quanto à localização dessas substâncias *BROWNING* (1963) afirma que as substâncias p $\acute{e}$ cticas, hemiceluloses e celulose, ocorrem tipicamente na lamela média e na parede primária. A lignina por sua vez ocorre nas paredes espessas dos esclereídeos e fibras encontradas no felema.

Com relação aos carboidratos da madeira, ainda reportando-se a *BROWNING* (1963), este autor considera a existência de estudos mostrando haver um mais alto teor de ácidos ur $\acute{o}$ nicos e pectina no floema que no xilema. Há evidências de que este alto teor de ácidos ur $\acute{o}$ nicos seja acompanhado por um baixo teor de pentosanas. A relação molar de pentosanas para

ácidos urônicos é citada como sendo de 2:1 na casca em contraste com os 6:1 da madeira. Em comparação com a madeira, o citado autor afirma ainda ser o conteúdo de celulose na casca baixo, sendo valor usualmente encontrado o teor de 20 a 30%. Estudando 14 espécies de folhosas japonesas, *KAWASE e SUKUI (1967)* encontraram teores inferiores de holocelulose na casca comparativamente à madeira.

Com relação a lignina, pesquisadores como *CHANG e MITCHELL (1955)* e *BROWNING (1963)* consideram a existência de uma diferença básica entre a estrutura e composição da lignina obtida da casca e a lignina obtida da madeira. Há considerações sobre um mais alto teor de componentes fenólicos associados à lignina da casca do que na madeira. Esses compostos fenólicos inclusive são citados como interferentes no processo de isolamento da lignina da casca em alguns métodos analíticos.

Os extrativos da casca normalmente são considerados como substâncias que podem ser dissolvidas por meio de solventes orgânicos ou água, sem sofrerem qualquer transformação química. Apesar de existirem variações entre as espécies, os extrativos da casca normalmente compreendem: ácidos e álcoois de elevado peso molecular, resinas, gorduras, ceras, hidrocarbonetos, proteínas, compostos fenólicos, gomas, pectinas, etc.. *MURPHEY et alii (1970)*, afirmam que dentre os constituintes químicos da casca, os extrativos são os componentes que sofrem a maior variação, tanto em termos quantitativos como em composição quando se considera espécies diferentes. *HOSSFELD e KAUFERT (1957)* encontraram em *Populus tremuloides* resultados indicando que a região do floema contém a mais alta proporção de extrativos da casca.

Com relação aos extrativos da casca, destaque deve ser dado para os estudos visando-se a obtenção de produtos químicos à partir dos mesmos para uma possível comercialização. Neste sentido, deve-se destacar trabalhos sobre a química dos extrativos da casca desenvolvidos por *WISE et alii* (1951), *ROGER et alii* (1955), *WISNER et alii* (1958), *FARBER* (1959), *BURGON* (1964), *ROWE e SCROGGINS* (1964).

### 3.2. Uso da casca como fonte de fibras para a fabricação de celulose e papel. Vantagens e desvantagens

A produção de celulose à partir da casca isolada ou em mistura com a madeira, conquanto tenha sido estudada já a algum tempo, tornou-se mais intensamente pesquisada na década atual. A razão disso talvez se prenda a necessidade cada vez maior de novas fontes de matérias-primas e às transformações técnicas e econômicas de processamento que talvez possam permitir sua utilização.

De um modo geral, existem ainda controvérsias quanto à utilização da casca, principalmente pelo fato de não estarem ainda bem definidos os parâmetros sobre os quais a mesma possa exercer influências.

A casca é tradicionalmente referida nos processos de obtenção de celulose como causadora de problemas, os quais trazem limitações quanto a sua utilização. *KROGH* (1975), *BARRICHELO e BRITO* (1976), *KOLENEKI e PRIMAS* (1977), *FOELKEL et alii* (1977) inumeram e descrevem alguns problemas do uso da casca dos quais destacam-se:

1. Na estocagem da madeira com casca a suscetibilidade ao ataque de fungos aumenta.

2. Nos picadores, a casca tem uma tendência de formar lascas compridas que dificultam o transporte, peneiração e armazenagem em silos ou pilhas. *KROGH (1975)*, afirma que este problema só aparece com madeira com 4 meses ou mais de corte e pode ser contornado usando-se madeira verde.

3. Ainda com relação à picagem da madeira com casca a formação de cavacos diminui em qualidade aliando-se à formação de maior quantidade de finos. Com madeira verde, a percentagem de finos aumenta em 100%.

4. Em digestores contínuos, do tipo que opera com lavagem em contracorrente dentro do próprio digestor, o cozimento com casca tem causado problemas ainda não solucionados. 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. *BARRICHELO e BRITO (1976)*, contudo, afirmam que estes problemas não são sentidos nos digestores descontínuos, principalmente naqueles em que o aquecimento é direto.

5. Nos digestores, os problemas da utilização da casca se iniciam quando da alimentação dos mesmos devido aos entupimentos, dificultando uma dosagem uniforme. A densidade da casca, sendo mais baixa que a da madeira faz com que a mesma ocupe um espaço relativamente maior do que seria ocupado somente pela madeira. Como resultado o rendimento em peso de celulose por carga de digestor diminui.

6. A casca consome maior quantidade de reagentes químicos, havendo portanto, um desperdício na eficiência dos mesmos. Esse maior consumo é explicado pelo mais alto teor de lignina e extrativos da casca.

7. O aumento do consumo de agentes químicos e a maior quantidade de substância orgânica da madeira com casca pode resultar em sobrecarga do equipamento de recuperação em fábricas que trabalham nos limites da capacidade de recuperação. Há maior facilidade de incrustações nos evaporadores e maiores facilidades de entupimentos na caldeira de recuperação.

8. A presença de casca junto à madeira provoca o aparecimento de um grande número de pintas e sujeiras na celulose. Para a eliminação das mesmas é necessário um eficiente sistema de depuração centrífuga.

9. No branqueamento da celulose há um maior consumo de reagentes químicos, principalmente devido aos extrativos da casca. Há ainda o aparecimento de um maior número de fibras não-branqueadas e surgimento de maior número de pintas na celulose.

10. As resistências físico-mecânicas da celulose diminuem pela presença de casca no cozimento.

11. Na máquina de papel, há maiores dificuldades no controle de refinação, menor drenabilidade, maior número de quebras e redução na qualidade do papel.

Como pode ser observado, a maioria dos problemas causados pela presença de casca são na verdade de ordem operacional e menos quanto à qualidade do produto final. Os problemas de ordem operacional são mais facilmente equacionáveis pelo ajuste de equipamentos e instrumental à matéria-prima.

*FOELKEL et alii (1977)* afirmam que apesar de todos os problema

mas, limitações e desvantagens, o uso da casca vem sendo paulatinamente incrementado. Isso porque as vantagens alcançadas pelo seu uso são maiores principalmente por:

a. colocação à disposição da indústria de uma nova e volumosa fonte de fibras a custo desprezível em relação aos processos de exploração florestal convencionais.

b. diminuição nas operações florestais pela não necessidade de uma das mais onerosas atividades no campo que é o descascamento.

*KEAYS e HATTON (1974)* tecendo considerações sobre as implicações práticas do uso da casca na fabricação de celulose e papel, chegaram à conclusão importante de que uma indústria de celulose com suficiente capacidade de digestores, sistemas de recuperação e equipamentos necessários pode perfeitamente, ser economicamente bem sucedida na utilização de resíduos florestais, particularmente casca.

Finalmente, segundo *BARRICHELO e BRITO (1976)* do ponto de vista tecnológico, o ideal é se trabalhar com a madeira totalmente descascada. Porém, do ponto de vista da economia global da empresa, como indústria e floresta, a alternativa mais condizente com a realidade é a utilização da madeira integral.

### 3.3. As experiências do uso da casca na obtenção de celulose e papel

A utilização de madeira com casca na produção de celulose tem sido estudada principalmente nos Estados Unidos da América do Norte e em alguns países europeus; pouca coisa pode ser encontrada da literatura especializada brasileira. No exterior, diversas espécies vegetais arbóreas, pro-

cessadas por diferentes métodos de conversão tem sido objeto de estudos.

Segundo *KEAYS e HATTON (1974)*, tradicionalmente a celulose tem sido fabricada à partir de madeira descascada. Particularmente no caso de pasta mecânica, celulose sulfito, celulose semi-química e celulose kraft branqueada, os autores consideram que não se deve tolerar um nível superior à 1% no teor de casca presente junto à madeira.

Com respeito à produção de celuloses semi-químicas, o descascamento tem sido considerado como necessário para a obtenção de celulose isenta de impurezas conforme afirma *CASEY (1960)*.

O elevado teor de extrativos presentes na casca de coníferas é um importante detalhe que merece ser considerado quando o processo sulfito ácido é empregado segundo *CASEY (1960) e BROWNING (1963)*. Nessa situação, o descascamento é fundamental para evitar os problemas de qualidade de celulose que frequentemente aparecem na transformação por métodos ácidos destes tipos de madeira, especialmente para as do gênero *Pinus*. Ainda com relação à extrativos, num estudo sobre uso da casca de *Picea* spp. para a produção de celulose desenvolvido por *DAHM (1963)*, concluiu-se que no emprego do processo sulfito ácido para cozimento de madeira e casca há uma redução na capacidade de reação entre o licor e a lignina da madeira. Esta redução é motivada, segundo o autor, pela presença do composto estilbeno derivado do piceatanol da casca.

*RYDHOLM (1965)* reforça as afirmações de que a presença de casca é problemática para o processo sulfito quando afirma que uma grande proporção da mesma não se dissolve durante o cozimento, tendo que ser remo-

vida por um equipamento mais sofisticado nas operações de lavagem, depuração e branqueamento. Outro problema levantado pelo autor é o caso de espécies que possuem tanino na casca. Durante o cozimento sulfito, este tanino se dissolve no licor e se difunde na madeira condensando-se sobre a celulose e, conseqüentemente, dificultando o branqueamento.

Um trabalho pioneiro sobre produção de celulose semi-química realizado por *KELLER (1950)* utilizando madeira de *Populus tremuloides*, *Carya glabra* e *Pinus caribaea* mostra os efeitos negativos da presença da casca. Observou-se que no cozimento de madeira com casca de *P. caribaea* houve um consumo duas vezes maior de sulfito de sódio do que o consumido por madeira sem casca. Para *Populus tremuloides* dentro da mesma observação houve um consumo ligeiramente maior enquanto que, no caso de *Carya glabra* o consumo foi intermediário. Em termos de resistências físico-mecânicas com exceção de um aumento na resistência a dobras da celulose de *Carya glabra*, as demais resistências sofreram um decréscimo em seus valores com o aumento da quantidade de casca empregada. A resistência a dobras foi a propriedade que maior influência sofreu com a presença de casca sendo que a resistência ao rasgo foi a menos afetada.

Dentro dos processos químicos de obtenção de celulose, desta que especial deve ser dado ao processo sulfato ou kraft os quais tem mostra do maior possibilidade, principalmente quando do emprego da casca em mistura com a madeira.

*BROWN (1956)* estudando *Quercus rubra* e *Q. alba* e a possibili dade do uso da casca em cozimentos pelo processo sulfato não recomenda o seu emprego isolado, pois, cozimentos somente da casca dessas espécies de-

ram como resultado um alto teor de rejeitos. Quando as mesmas condições re-  
queridas para a produção de celulose branqueável de madeira foram utiliza-  
das para a casca, obteve-se um rendimento em celulose depurada equivalente  
a metade daquele obtido com a madeira sendo que o consumo de produtos quími-  
cos não aumentou. Condições mais drásticas de cozimentos, provavelmente, re-  
duziriam a quantidade de rejeitos produzidos mas o rendimento decresceria.

Segundo constatado pelo autor, devido ao baixo teor de fi-  
bras, a celulose de casca apresentou resistências consideravelmente mais  
baixas que a celulose obtida da madeira ou das misturas madeira mais casca.  
As resistências ao estouro e a tração chegaram a um terço das obtidas com  
celulose só de madeira.

A pureza química da celulose de casca reduziu-se considera-  
velmente chegando o conteúdo em lignina a 4,3% contra os 2,2% da celulose  
da madeira.

Na produção de celulose com misturas de madeira e casca cons-  
tatou-se também ser indispensável a utilização de depuradores centrífugos  
para que não houvesse sérios prejuízos nas resistências e aparência da celu-  
lose branqueada.

No entanto, existem trabalhos que mostram a perfeita viabili-  
dade técnico-econômica da utilização da casca acompanhando a madeira nos  
processos de fabricação de celulose. Isso é particularmente válido quando  
o processo empregado é o sulfato ou o kraft.

Estudos pioneiros realizados por *HAMILTON (1950)* demonstra-

ram a possibilidade de se produzir celulose quer de madeira não-descascada ou de casca isoladamente. *HAMILTON* observa que é possível a manufatura de papel de embalagem com celulose obtida a partir de casca quando a mesma possuir quantidade suficiente de fibra. Os processos de produção de celulose adotados pelo autor foram kraft, soda-enzofre e sulfito neutro.

Estudo realizado por *MARTIN e BROWN (1952)* com madeira e casca de *Pinus echinata* e utilizando processo kraft mostrou a viabilidade de se usar misturar de madeira e casca quando em proporções adequadas. Houve restrições apenas para cozimentos somente com casca que foi citado como sendo imprópria para a produção de celulose. A não viabilidade do uso isolado da casca ficou evidenciada pela sua alta solubilidade em álcalis indicando um baixo rendimento em celulose e um alto consumo de produtos químicos. Neste trabalho ainda foi observado que as celuloses obtidas de cozimentos de madeira mais casca nas proporções de 8, 16 e 24%, apresentaram um mais alto teor de holocelulose e alfa-celulose e um mais baixo teor em lignina que as celuloses obtidas da madeira ou casca isoladas. Os teores de pentosanas e hemiceluloses ficaram próximos daqueles encontrados para celulose de madeira sem casca.

Com o propósito de investigar os efeitos da presença de casca junto à madeira de *Pseudotsuga taxifolia* para a produção de celulose kraft não-branqueada, *SAMUELS e GLENNIE (1958)* realizaram estudos em que a casca foi misturada com madeira em várias proporções (5, 10 e 20% em peso). A inclusão da casca não resultou em escurecimento de celulose exceto ao nível de 20% de casca na mistura. O conteúdo de casca aumentou o consumo de agentes químicos do cozimento mas de modo não-significativo. Os valores

das resistências para todas as celuloses obtidas das misturas foram similares e num grau satisfatório para papéis kraft de escrita.

Utilizando-se de 14 espécies de folhosas japonesas *KAWASE* e *SUSUKI* (1967) realizaram outro estudo com emprego do processo sulfato, o qual mostrou que o uso de madeira com casca até um teor máximo de 15% na produção de celulose diminuiu na média o rendimento em somente 1% e a alvura em 28%. O comprimento de auto-ruptura não sofreu influência devido à presença da casca na mistura.

Especial atenção tem sido dada ao problema do uso da casca pela tradicional instituição de pesquisas norte-americana Forest Products Laboratory, em Madison, Wisconsin. Dois técnicos desse laboratório, *HORN* e *AUCHTER* (1972) realizaram um trabalho em que mostraram a possibilidade de se produzir celulose kraft branqueada e não-branqueada de madeira de confereira não-descascada, contendo em média 10% de casca. Para isso foi verificado que o tratamento com casca necessitou 0,2% a mais de álcali ativo durante o cozimento, e de 0,2% a mais de cloro para se conseguir uma alvura equivalente a obtida com celulose de cavacos livres de casca.

Uma série de cozimentos sob condições de operação padronizadas com cavacos de madeira descascada e não-descascada foi realizada por *WIEDERMANN* (1972) utilizando-se folhosas européias com processo kraft. Do estudo o autor concluiu que com a presença de casca nenhum efeito adverso foi observado no produto final. Um leve decréscimo no rendimento para madeira não-descascada é explicado pelo autor pelo aumento do teor de rejeitos. Em relação a um consumo adicional de reagentes por parte da madeira não-descascada durante o cozimento, os teores de álcali e o pH do licor ne-

gro mostraram diferenças mínimas em relação ao licor negro da madeira não-descascada. O mesmo fato ocorreu com as curvas de consumo de álcali com o decorrer do tempo de cozimento. Respectivamente para madeira descascada e madeira não-descascada e partindo-se de uma mesma concentração inicial de álcali no licor branco de cozimento, os consumos de reagentes químicos nos primeiros 30 minutos de cozimentos foram 8% e 11%, mas ao fim do cozimento as diminuições dos álcalis residuais foram somente 12,5% e 14,0%; o pH dos licores negros permaneceram constantes em 12,10 e 12,5. No processo de branqueamento nenhum consumo adicional de cloro foi observado.

Novamente *AUCHTER (1973)* agora em um estudo com coníferas plantadas nos EUA chegou a conclusões interessantes ao utilizar madeira com e sem casca sob condições diferentes de processamento das celuloses obtidas pelo processo kraft. Estudando especificamente o álamo vermelho (*Alnus rubra*) e o choupo (*Populus euroamericana*) concluiu que para a primeira espécie as celuloses obtidas de madeira com ou sem casca tiveram o mesmo comportamento. Para o caso do choupo, contudo, foram encontrados menores comprimentos de fibras, baixa densidade, e reduzida qualidade na resistência das celuloses com casca. Frise-se que a celulose de álamo foi depurada em peneiras e depuradores centrífugos enquanto que a do choupo só em peneiras.

No caso das demais coníferas, cujas celuloses foram depuradas em peneiras e em depuradores centrífugos, não houve nenhuma diferença nas propriedades devido à presença de casca.

Os valores de alvura para celulose não-branqueada foram 2 a 4 pontos mais baixos quando a casca foi incluída.

O teor de sujeira genericamente se apresentou muito mais alto se a casca era incluída. As diferenças nos teores de sujeira se mostraram bem menores depois da depuração em depuradores centrífugos e praticamente deixaram de existir depois do branqueamento.

Concluiu o autor que, no processo kraft pode-se utilizar madeira com até 17% de casca para produzir celulose de igual qualidade a celulose de madeira sem casca.

Na tentativa de solucionar problemas relacionados com o uso da casca, *FOELKEL et alii (1977)* realizaram um estudo em que utilizando *E. wrophylla* procuraram analisar as condições de viabilidade para o uso industrial da casca dessa espécie, em misturas com cavacos de madeira, para produção de celulose kraft de alta alvura e resistências. Uma nova proposição para o uso da casca é apresentada, qual seja, o descascamento das toras no próprio pátio da madeira da fábrica, seguido por um desmedulamento e envio apenas das fibras da casca e cavacos de madeira para o digestor, numa proporção em peso de no máximo 10% de casca desmedulada no material a ser deslignificado. Até esta proporção obteve-se celuloses que preencheram todas as rígidas exigências e especificações para um produto de qualidade similar ao obtido de apenas madeira.

Em resumo, os principais problemas tecnológicos que advém do emprego da madeira não-descascada na produção de celulose são os decorrentes do aumento do teor de rejeitos e as dificuldades encontradas no branqueamento. Uma possível explicação para estes fenômenos seria a forte ligação lignina-carbohidrato existente na casca sugerida por *BRAUNS e LEWIS*, citados por *BROWNING (1963)*. Esta ligação limitaria a ação dos agentes de

deslignificação e uma grande parte da lignina da casca permaneceria insolúvel.

Com relação a economicidade do emprego de madeira não-descascada para produção de celulose kraft de *Pinus*, esta foi verificada por *AUCHTER e HORN (1973)*. Tal verificação analisou investimentos de capital fixo e custos variáveis como mão-de-obra, matéria-prima fibrosa, consumo de energia e de reagentes químicos. Como conclusão, observou-se que a produção de celulose de madeira não-descascada apresentava uma vantagem econômica de cerca de US\$ 4,68/tonelada em relação à celulose produzida com madeira descascada.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Material

A madeira utilizada no presente estudo era proveniente de povoamentos de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* respectivamente com 6 e 14 anos de idade, implantados na região de Mogi-Guaçu, SP. Os dados relativos a altura média, diâmetro médio à altura do peito e espaçamento dos povoamentos por ocasião da coleta da madeira são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Altura média, DAP médio e espaçamento dos povoamentos.

Espécie	H (m)	DAP (cm)	Espaçamento (m x m)
<i>E. grandis</i>	21,2	14,6	3 x 2
<i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	16,5	13,5	3 x 2

H = altura média

DAP = diâmetro médio à altura do peito

## 4.2. Métodos

### 4.2.1. Coleta e amostragem da madeira e da casca

Para cada espécie em estudo foi escolhido um talhão representativo da população no qual foram derrubadas 10 árvores, conforme preconizado por *BARRICHELO e BRITO (1978)*. Cada árvore foi seccionada à cada 2m até um diâmetro mínimo de 6 cm. Os toros de cinco árvores foram descascados manualmente, permanecendo os demais toros das outras cinco árvores com a casca. Obteve-se assim toros de árvores descascadas e toros de árvores não-descascadas separadamente, os quais foram transformados em cavacos utilizando-se picador industrial.

No caso específico da casca a mesma foi picada manualmente em fragmentos com aproximadamente 3 cm de comprimento e 2 cm de largura.

Como consequência da coleta e amostragem da madeira, obteve-se para cada espécie em estudo:

- um lote de cavacos de madeira descascada;
- um lote de cavacos de madeira não-descascada;
- um lote de casca picada.

Os lotes obtidos foram secados ao ar livre até se aproximarem de um teor de umidade de 10% e peneirados para remoção de serragem e nós. Após a peneiragem os lotes forem acondicionados em sacos plásticos e armazenados.

#### 4.2.2. Caracterização da madeira e da casca

Exclusivamente para se caracterizar a matéria-prima utilizada foram realizados ensaios na madeira e casca. No Apêndice são apresentados os valores para teor de casca, densidade básica e análises químicas.

##### 4.2.2.1. Teor de casca

O teor de casca foi calculado com base na determinação do volume real com casca e volume real sem casca dos toros segundo preconizado por *BARRICHELO e BRITO (1976)*.

##### 4.2.2.2. Densidade básica

A densidade básica da madeira e casca sem extração foi determinada pelo método do máximo teor de umidade, segundo preconizado por *FOELKEL et alii (1971)*.

##### 4.2.2.3. Análises químicas quantitativas

A determinação da composição química foi realizada sobre os lotes de cavacos de madeira descascada e casca. Os cavacos de madeira e a casca foram primeiramente moídos em um moinho tipo Wiley, modelo de laboratório. Cada serragem obtida foi classificada através de peneiras, conforme a granulometria requerida pelas normas de ensaios. As serragens foram deixadas a secar ao ar até umidade de equilíbrio e depois individualmente guardadas em sacos plásticos identificados. O teor de umidade foi então determinado segundo a norma ABCP M2/71.

As análises químicas foram realizadas em triplicata e a média dos resultados foi expressa como porcentagem do peso seco original de material. As seguintes análises químicas foram realizadas conforme mostradas na Tabela 2.

Tabela 2. Análises químicas da madeira e casca.

Análise	Norma
Solubilidade em água quente	ABCP - M4/68
Solubilidade em álcool-benzeno	ABCP - M6/68
Solubilidade em NaOH 1%	ABCP - M5/68
Teor de Celulose Cross & Bevan	ABCP - M9/71
Teor de Lignina	ABCP - M10/71
Teor de Pentosanas	TAPPI - T 19m-50
Teor de Cinzas	TAPPI - T 15m-58

TAPPI = Technical Association of the Pulp and Paper Industry

ABCP = Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel

#### 4.2.3. Cozimentos

Para a produção de celulose, os cavacos de madeira não-descascada e de madeira descascada de ambas as espécies sofreram cozimentos pelo processo sulfato. No caso de *E. grandis* procurou-se obter um número de permanganato entre 16,0 e 18,0 visando-se o branqueamento da celulose. No caso do *P. caribaea* var. *hondurensis* procurou-se obter um número de permanganato entre 23,5 e 25,5 para a produção de celulose não-branqueada.

Para cada espécie foram realizados cinco cozimentos respectivamente para madeira não-descascada e madeira descascada, utilizando-se uma quantidade de cavacos equivalente a 1000 g absolutamente secos por cozimento. As condições de cozimentos empregadas constam das Tabelas 3 e 4.

Tabela 3. Condições de cozimento para o *E. grandis*.

Variáveis	madeira descascada	madeira não-descascada
Álcali ativo (% como Na <sub>2</sub> O)	14	15
Atividade (%)	100	100
Sulfidez (%)	25	25
Relação licor-madeira (ℓ/kg)	4:1	4:1
Temperatura máxima (°C)	165	165
Tempo até temperatura máxima (h)	2,0	2,0
Tempo à temperatura máxima (h)	0,5	0,5

Tabela 4. Condições de cozimento para o *P. caribaea* var. *hondurensis*.

Variáveis	madeira descascada	madeira não-descascada
Álcali ativo (% como Na <sub>2</sub> O)	17	18
Atividade (%)	100	100
Sulfidez (%)	25	25
Relação licor-madeira (ℓ/kg)	4:1	4:1
Temperatura máxima (°C)	170	170
Tempo até temperatura máxima (h)	2,0	2,0
Tempo à temperatura máxima (h)	1,0	1,0

As soluções de NaOH e Na<sub>2</sub>S utilizadas nos cozimentos foram preparadas à concentração de aproximadamente 100 g por litro, expressas co-

mo  $\text{Na}_2\text{O}$  e mantidas em recipientes de vidro vedados para serem usadas quando necessário. Antes dos cozimentos as soluções foram padronizadas, misturadas e diluídas em água em quantidades previamente calculadas para se chegar a relação licor:madeira especificada. A quantidade de água existente na ma deira foi levada em conta.

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

#### 4.2.4. Processamento após cozimento

##### 4.2.4.1. Lavagem

Ao final do tempo necessário para cada cozimento o digestor teve sua pressão aliviada até a pressão atmosférica e a ~~celulose~~ foi transferida para uma caixa de madeira tendo ao fundo uma tela de 40 mesh. A ~~celulose~~ foi lavada com água até que os filtrados se mostrassem incolores.

##### 4.2.4.2. Desfibramento

Depois da lavagem os cavacos foram desfibrados em um desintegrador, modelo de laboratório, de 3000 rpm para a liberação das fibras, as quais foram recebidas em uma caixa de madeira tendo ao fundo uma tela de 40 mesh.

#### 4.2.4.3. Depuração

As celulosas após desfibramento foram depuradas em classificador de fibras BH 6/12 tipo Brecht & Holl, com peneiras de fendas 0,2 mm para *Eucalyptus* e 0,5 mm para *Pinus*.

#### 4.2.4.4. Prensagem

Após lavagem e depuração as celulosas foram prensadas manualmente até se atingir um teor de umidade em torno de 20% e transferidos para sacos plásticos identificados.

#### 4.2.4.5. Determinação de rendimentos dos cozimentos e teores de rejeitos

Após depuração e prensagem, as celulosas foram pesadas, bem como calculados seus teores de umidade. Com esses valores foram calculados os pesos das celulosas depuradas que possibilitaram a obtenção dos rendimentos dos cozimentos através da fórmula:

$$\text{RCD (\%)} = \frac{\text{PSCD}}{\text{PSc}} \times 100$$

onde:

RCD = rendimento em celulose depurada

PSCD = peso absoluto seco de celulose depurada

PSc = peso absolutamente seco de cavacos

Por outro lado, os rejeitos foram secos em estufa a  $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$  e determinou-se o teor de rejeito através da fórmula:

$$\text{R(\%)} = \frac{\text{PSR}}{\text{PSc}} \times 100$$

onde:

R = teor de rejeitos;

PSR = peso absolutamente seco de rejeitos;

PSc = peso absolutamente seco de cavacos no cozimento.

Os rendimentos dos cozimentos em termos de celulose não-depurada (celulose bruta) foram calculados pela soma dos valores encontrados para os rendimentos em celulose depurada e os teores de rejeitos.

#### 4.2.4.6. Mistura das celuloses não-branqueadas (amostra composta) e armazenamento

Posteriormente ao processamento das celuloses as mesmas foram misturadas entre si em função dos tipos de madeira que as originaram. Assim é que obteve-se para cada espécie estudada uma amostra composta de celulose de madeira descascada e uma amostra composta de celulose de madeira não-descascada, as quais foram armazenadas à temperatura de 5°C para posteriores análises.

#### 4.2.5. Análises químicas das celuloses não-branqueadas

As determinações das propriedades químicas das celuloses não-branqueadas foram realizadas de acordo com as análises mostradas na Tabela 5. As análises foram realizadas com 9 repetições sobre as amostras compostas das celuloses não-branqueadas das duas espécies.

A média dos resultados obtidos na análise foi expressa como uma porcentagem do peso seco de celulose não-branqueada.

Tabela 5. Análises químicas das celuloses não-branqueadas.

Análise	Norma
Teor de holocelulose	TAPPI - T 9m-54
Teor de pentosanas	TAPPI - T 19m-58
Teor de cinzas	TAPPI - T 15m-58
Número de permanganato	ABCP - C4/71

#### 4.2.6. Determinação das propriedades óticas das celuloses não-branqueadas e branqueadas

Nas celuloses não-branqueadas e branqueadas foram determinadas as seguintes propriedades óticas:

- alvura;
- opacidade.

As determinações foram realizadas com 12 repetições para cada amostra composta de celulose, previamente deixadas secar ao ar.

O aparelho utilizado nas determinações foi um medidor de alvura e opacidade de leitura direta AL/OP/DIG-REG-MED, sendo os resultados expressos em porcentagem. Os ensaios foram realizados segundo a norma ABCP - P16/73.

#### 4.2.7. Análises anatômicas das fibras de celuloses não-branqueadas

De cada amostra composta de celulose não-branqueada foram tomadas sub-amostras para mensuração das dimensões das fibras, a saber:

- comprimento (C) expresso em mm
- largura (L) expressa em  $\mu$
- diâmetro do lúmen (DL) expresso em  $\mu$
- espessura da parede (E) expressa em  $\mu$

O material tomado para mensuração sofreu inicialmente uma maceração em solução de clorito de sódio a 30% durante 5 minutos, como tratamento deslignificativo. Após a maceração o material foi lavado com água até total remoção do clorito de sódio, e a partir dele foram montadas 10 lâminas. Utilizando-se microprojctor e microscópio ótico dotado de micrômetro foram medidas 10 fibras para cada lâmina num total de 100 fibras sendo mensuradas sobre a celulose de madeira não-descascada e outras 100 fibras para celulose de madeira descascada.

Considerou-se a média das mensurações de 10 fibras por lâmina como sendo uma repetição para efeito de análise estatística dos resultados.

No Apêndice são mostrados a média aritmética e o coeficiente de variação das fibras mensuradas por lâmina.

#### 4.2.8. Determinação das propriedades físico-mecânicas das celulosas não-branqueadas e branqueadas

Para a determinação das propriedades físico-mecânicas das celulosas não-branqueadas, os seguintes ensaios foram realizados e calculados segundo o método TAPPI-220m-60 sobre cada amostra composta:

- peso específico aparente: expresso em  $\text{g/cm}^3$ ;

- resistência à tração: expressa pelo comprimento de auto-ruptura em metros;
- resistência ao arrebentamento: expressa pelo índice de arrebentamento;
- resistência à dobras: expressa pelo número de dobras;
- resistência ao rasgo: expressa pelo índice de rasgo;
- porosidade: expressa em  $\text{seg}/100 \text{ cm}^3$

Com o propósito de adequar as celuloses às condições necessárias para a realização dos citados ensaios as mesmas foram previamente refinadas, transformadas em folhas e acondicionadas.

No caso das celuloses branqueadas determinou-se suas viscosidades, segundo preconizado pela norma ABCP - C9/72, com 9 repetições sendo executadas para cada tipo de celulose.

#### 4.2.8.1. Refinação das celuloses

As celuloses foram refinadas em moíno centrifugal Jokro-Muhle, de acordo com o método Merk-blatt V/105-VZIPC (Verein der Zellstoff und Papier Chemiker und Ingenieure), visando o desenvolvimento das propriedades físico-mecânicas, utilizando-se uma consistência de 6%. A refinação foi conduzida a 15 tempos de moagem em ordem crescente desde o tempo zero. O grau de refinação obtido para cada tempo foi expresso em termos de grau Shopper-Riegler ( $^{\circ}\text{SR}$ ) de acordo com a norma ABCP - C10/73.

#### 4.2.8.2. Formação das folhas de testes

A formação de folhas para os testes físico-mecânicos deu-se

em formador de folhas FS S/2, tipo Koethen Rapid, de dois secadores. Foram confeccionadas 8 folhas por tempo de moagem, num total de 120 folhas por es pécie.

#### 4.2.8.3. Acondicionamento das folhas

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  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa de  $65 \pm 2\%$ .

#### 4.2.9. Branqueamento das celuloses de *E. grandis*

##### 4.2.9.1. Esquema e procedimento

Os branqueamentos foram efetuados com 5 repetições sobre as amostras compostas de celulose não-branqueada de *E. grandis* segundo um esquema de 4 estágios a saber: C - E - D - D.

C = cloração ácida;

E = extração alcalina;

D = tratamento com dióxido de cloro.

A percentagem de cloro total do branqueamento foi de 8% e a percentagem de NaOH total foi de 2,5%.

As condições do branqueamento por estágio foram as seguintes:

*Cloração ácida (1º estágio)*

- quantidade absolutamente seca de celulose (g) .....	200
- consistência (%) .....	4
- cloro disponível para cloração (%) .....	4
- temperatura (°C) .....	25
- tempo (minutos) .....	45
- pH .....	2

*Extração alcalina (2º estágio)*

- quantidade absolutamente seca de celulose (g) .....	200
- consistência (%) .....	10
- % de NaOH .....	2,5
- temperatura (°C) .....	70
- tempo (minutos) .....	120
- pH .....	12

*Dioxidação (3º estágio)*

- quantidade absolutamente seca de celulose (g) .....	200
- consistência (%) .....	10
- cloro disponível para dioxidação (%) .....	2,4
- temperatura (°C) .....	75
- tempo (minutos) .....	180
- pH .....	3,0

*Dioxidação (4º estágio)*

- quantidade absolutamente seca de celulose (g) .....	200
- consistência (%) .....	10
- cloro disponível para dioxidação (%) .....	1,6

- temperatura (°C) .....	70
- tempo (minutos) .....	180
- pH .....	3,0

Em cada estágio de branqueamento as celulosas foram colocadas em recipientes plásticos que foram hermeticamente fechados após a adição do agente branqueador e da água para correção da consistência ao nível desejado. O controle da temperatura nos três estágios finais foi realizado em um banho-maria com agitação constante da água.

Após os últimos estágios dos branqueamentos as celulosas foram cuidadosamente lavadas e prensadas manualmente até se atingir um teor de umidade em torno de 20%.

Após a prensagem as celulosas foram transferidas para sacos plásticos identificados.

#### 4.2.9.2. Determinação de rendimentos dos branqueamentos

Após o branqueamento e prensagem, as celulosas foram pesadas bem como foram calculados seus teores de umidade. Com esses valores foram calculados os pesos das celulosas branqueadas que possibilitaram a obtenção dos rendimentos dos branqueamentos através da fórmula:

$$RB (\%) = \frac{PSCB}{PSCNB} \times 100$$

onde:

RB = rendimento do branqueamento;

PSCB = peso absolutamente seco da celulose branqueada;

PSCNB = peso absolutamente seco de celulose não-branqueada.

#### 4.2.9.3. Mistura das celuloses branqueadas e armazenamento

Posteriormente ao processamento as celuloses foram misturadas entre si em função do tipo de madeira que as originaram. Assim é que obteve-se para o *E. grandis*, celulose branqueada originária de madeira descascada e celulose branqueada originária de madeira não-descascada, as quais foram armazenadas à temperatura de 5°C para posteriores análises.

#### 4.2.10. Cálculo do rendimento médio final em celulose branqueada

O rendimento médio em celulose branqueada foi calculado através da fórmula:

$$\text{RCB (\%)} = \frac{\text{RB} \times \text{RCD}}{100}$$

onde: RCB = rendimento médio final em celulose branqueada;  
RB = rendimento médio do branqueamento;  
RCD = rendimento médio em celulose depurada.

#### 4.2.11. Análises químicas das celuloses branqueadas de *E. grandis*

As determinações das propriedades químicas das celuloses branqueadas foram realizadas de acordo com as análises mostradas na Tabela 6. As análises foram realizadas com 3 repetições, com amostragens sendo feitas diretamente nas celulose branqueadas. A média dos resultados obtidos nas análises foi expressa como uma percentagem do peso de celulose branqueada.

Tabela 6. Análises químicas das celuloses branqueadas de *E. grandis*.

Análise	Norma
Teor de holocelulose	TAPPI - T 9m-54
Teor de cinzas	TAPPI - T 15m-58

#### 4.2.12. Delineamento experimental

Utilizou-se análise estatística para testar os resultados en contrados para cozimentos, propriedades químicas, óticas e anatômicas das celuloses. Para tanto, os resultados obtidos foram analisados através da aplicação do teste F.

A variabilidade dos resultados foi expressa pelo coeficiente de variação em percentagem.

As propriedades físico-mecânicas das celuloses para os quinze diferentes tempos de refinação foram correlacionadas com os correspondentes graus Schopper-Riegler, mediante a aplicação de equações de regressão simples.

Os valores das resistências físico-mecânicas utilizados para a obtenção das equações são mostrados no Apêndice.

Obtidas as equações, aplicou-se o teste de comparação de duas linhas de regressão conforme preconizado por *NETER e WASSERMANN(1974)*. Mediante este teste pode-se verificar para cada espécie, a existência ou não de igualdade estatística entre as curvas de regressão para a celulose

de madeira não descascada e para a celulose de madeira descascada. A aplicação do teste forneceu um valor F estimado que comparado com um valor de F de tabela levou à uma das seguintes decisões estatísticas:

- a. se  $F$  estimado  $\leq$   $F$  de tabela  $\rightarrow$  as curvas de regressão da celulose de madeira não-descascada e da celulose de madeira descascada seriam estatisticamente as mesmas.
- b. se  $F$  estimado  $>$   $F$  de tabela  $\rightarrow$  as curvas de regressão da celulose de madeira não-descascada e da celulose de madeira descascada seriam estatisticamente diferentes.

O nível de 5% de significância foi considerado como sendo satisfatório para aplicação do teste.

Dada a complexidade das análises todas, as mesmas foram realizadas com auxílio do computador eletrônico IBM - 1130 - 4K, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Celulose de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

#### 5.1.1. Cozimentos

##### 5.1.1.1. Número de Permanganato

Os números de permanganato das celuloses de todos os cozimentos realizados para *P. caribaea* var. *hondurensis* situam-se entre 23,5 e 25,5 conforme fora pré-estabelecido.

##### 5.1.1.2. Rendimento em celulose (bruta e depurada) e teor de rejeitos

Os resultados encontrados para rendimento em celulose, teor de rejeitos e as respectivas análises estatísticas são mostrados nas Tabelas 7 a 11.

Tabela 7. Rendimentos em celulose bruta dos cozimentos de madeira não-descascada e descascada de *P. caribaea* var. *hondurensis*.

Repetição	Rendimento em celulose bruta (%)	
	madeira não-descascada	madeira descascada
1a.	42,5	45,1
2a.	41,9	46,2
3a.	42,7	46,2
4a.	41,8	45,8
5a.	42,3	46,0
Média	42,2	45,9
C.V. (%)	0,90	1,00

Tabela 8. Análise de variância para rendimento em celulose bruta dos cozimentos de *P. caribaea* var. *hondurensis*.

C. Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamento	1	32,76	182,00 **
Resíduo	8	0,18	
Total	9		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 9. Rendimentos em celulose depurada dos cozimentos de madeira não-descascada e descascada de *P. caribaea* var. *hondurensis*.

Repetição	Rendimento em celulose depurada (%)	
	madeira não-descascada	madeira-descascada
1a.	42,4	45,0
2a.	41,8	46,1
3a.	42,6	46,1
4a.	41,7	45,7
5a.	42,2	45,9
Média	42,1	45,9
C.V. (%)	0,90	1,00

Tabela 10. Análise de variância para rendimento em celulose depurada dos cozimentos de *P. caribaea* var. *hondurensis*.

C. Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamento	1	32,76	182,00**
Resíduo	8	0,18	
Total	9		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 11. Teor de rejeitos das celulosas obtidas dos cozimentos de madeira não-descascada e descascada de *P. caribaea* var. *hondurensis*.

Repetição	Teor de rejeitos (%)	
	madeira não-descascada	madeira descascada
1a.	0,10	0,10
2a.	0,10	0,10
3a.	0,10	0,10
4a.	0,09	0,10
5a.	0,10	0,10
Média	0,10	0,10
C.V. (%)	0,00	0,00

Tabela 12. Análise de variância para teor de rejeitos das celulosas dos cozimentos de madeira não-descascada e descascada de *P. caribaea* var. *hondurensis*.

C. Variação	G.L.	S.Q.	F
Tratamento	1	0,00001	1,00 n.s.
Resíduo	8	0,00001	
Total	9		

n.s. - não significativo.

### 5.1.2. Análises químicas das celulosas não-branqueadas de *P. caribaea* var. *hondurensis*

Os resultados das análises químicas das celulosas e suas respectivas análises estatísticas são mostrados nas Tabelas 13 a 18.

Tabela 13. Teor de holocelulose das celulosas não-branqueadas de *P. caribaea* var. *hondurensis*.

Repetição	Teor de holocelulose (%)	
	madeira não-descascada	madeira descascada
1a.	97,4	98,9
2a.	98,2	98,2
3a.	97,6	98,6
4a.	97,6	97,8
5a.	97,4	97,5
6a.	97,5	97,7
7a.	98,2	97,3
8a.	97,4	97,9
9a.	97,6	97,6
Média	97,3	97,9
C.V. (%)	1,67	0,54

Tabela 14. Análise de variância para teor de holocelulose das celulosas não-branqueadas de *P. caribaea* var. *hondurensis*.

C. Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamento	1	0,372777	1,74 n.s.
Resíduo	16	0,21375	
Total	17		

n.s. - não significativo

Tabela 15. Teor de pentosanas das celuloses não-branqueadas de *P. caribaea* var. *hondurensis*.

Repetição	Teor de pentosanas (%)	
	madeira não-descascada	madeira descascada
1a.	6,5	6,5
2a.	7,1	6,5
3a.	6,8	6,5
4a.	6,4	6,8
5a.	6,6	7,2
6a.	6,5	7,0
7a.	7,0	7,1
8a.	6,6	6,9
9a.	6,8	7,0
Média	6,7	6,8
C.V. (%)	3,58	3,97

Tabela 16. Análise de variância para teor de pentosanas das celuloses não-branqueadas de *P. caribaea* var. *hondurensis*.

C. Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamento	1	0,08	1,14 n.s.
Resíduo	16	0,07	
Total	17		

n.s. - não significativo

Tabela 17. Teor de cinzas das celuloses não-branqueadas de *P. caribaea* var. *hondurensis*.

Repetição	Teor de cinzas (%)	
	madeira não-descascada	madeira descascada
1a.	0,4	0,5
2a.	0,6	0,6
3a.	0,5	0,5
4a.	0,5	0,6
5a.	0,4	0,4
6a.	0,5	0,5
7a.	0,4	0,5
8a.	0,5	0,5
9a.	0,5	0,5
Média	0,5	0,5
C.V. (%)	14,00	12,00

Tabela 18. Análise de variância para teor de cinzas das celuloses não-branqueadas de *P. caribaea* var. *hondurensis*.

C. Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamento	1	0,005	1,25 n.s.
Resíduo	16	0,004	
Total	17		

n.s. - não significativo

### 5.1.3. Propriedades óticas das celuloses não-branqueadas de *P. caribaea* var. *hondurensis*

Os resultados encontrados para as propriedades óticas e as respectivas análises estatísticas são mostrados nas Tabelas de 19 e 22.

Tabela 19. Alvura das celuloses não-branqueadas de *P. caribaea* var. *hondurensis*.

Repetição	Alvura (%)	
	madeira não-descascada	madeira descascada
1a.	24,2	29,8
2a.	25,0	32,8
3a.	23,2	31,0
4a.	26,0	31,6
5a.	23,9	29,4
6a.	24,4	32,0
7a.	24,0	31,4
8a.	24,5	30,0
9a.	26,0	31,0
10a.	26,2	31,6
11a.	27,0	32,0
12a.	27,2	30,6
Média	25,1	31,1
C.V. (%)	5,22	3,25

Tabela 20. Análise de variância para alvura das celuloses não-branqueadas de *P. caribaea* var. *hondurensis*.

C. Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamento	1	213,61	157,07**
Resíduo	22	1,36	

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 21. Opacidade das celuloses não-branqueadas de *P. caribaea* var. *hondurensis*.

Repetição	Opacidade (%)	
	madeira não-descascada	madeira descascada
1a.	77,0	69,3
2a.	75,8	67,0
3a.	75,0	68,1
4a.	73,8	70,4
5a.	75,6	69,2
6a.	76,0	69,4
7a.	74,6	68,6
8a.	77,0	70,0
9a.	73,8	69,0
10a.	73,8	68,0
11a.	75,0	68,4
12a.	72,6	68,3
Média	75,0	68,8
C.V. (%)	1,81	1,37

Tabela 22. Análise de variância para opacidade das celuloses não-branqueadas de *P. caribaea* var. *hondurensis*.

C. Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamento	1	230,02	169,13 **
Resíduo	22	1,36	
Total	23		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade.

5.1.4. Análise anatômica das fibras nas celulosas não-branqueadas de *P. caribaea* var. *hondurensis*

Os resultados das análises anatômicas das fibras e as respectivas análises estatísticas são mostradas nas Tabelas de 23 a 30.

Tabela 23. Comprimento das fibras nas celulosas não-branqueadas de *P. caribaea* var. *hondurensis*.

Repetição	Comprimento das fibras (mm)	
	madeira não-descascada	madeira descascada
1a.	4,18	4,22
2a.	4,23	4,26
3a.	4,21	4,21
4a.	4,26	4,17
5a.	4,25	4,18
6a.	4,17	4,23
7a.	4,22	4,22
8a.	4,16	4,17
9a.	4,21	4,21
10a.	4,17	4,23
Média	4,21	4,21
C.V. (%)	0,95	0,71

Tabela 24. Análise de variância para comprimento nas fibras das celulosas não-branqueadas de *P. caribaea* var. *hondurensis*.

C. Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamento	1	0,00008	0,077 n.s.
Resíduo	18	0,001035	
Total	19		

n.s. - não significativo

Tabela 25. Largura das fibras nas celuloses não-branqueadas de *P. caribaea* var. *hondurensis*.

Repetição	Largura das fibras ( $\mu$ )	
	madeira não-descascada	madeira descascada
1a.	41,80	41,80
2a.	41,38	41,37
3a.	40,69	40,99
4a.	40,79	40,12
5a.	41,31	40,79
6a.	41,37	41,31
7a.	41,81	40,69
8a.	40,99	41,38
9a.	41,33	40,12
10a.	40,12	40,79
Média	41,16	40,94
C.V. (%)	1,26	1,34

Tabela 26. Análise de variância para largura das fibras nas celuloses não-branqueadas de *P. caribaea* var. *hondurensis*.

C. Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamento	1	0,248645	0,87 n.s.
Resíduo	18	0,286329	
Total	19		

n.s. - não significativo

Tabela 27. Diâmetro do lúmen das fibras nas celuloses não-branqueadas de *P. caribaea* var. *hondurensis*.

Repetição	Diâmetro do lúmen das fibras ( $\mu$ )	
	madeira não-descascada	madeira descascada
1a.	17,20	17,16
2a.	17,16	17,50
3a.	17,10	16,91
4a.	16,90	16,98
5a.	17,50	17,10
6a.	17,00	17,16
7a.	17,30	16,91
8a.	16,98	17,00
9a.	17,12	17,12
10a.	16,89	17,16
Média	17,12	17,10
C.V. (%)	1,11	0,99

Tabela 28. Análise de variância para diâmetro do lúmen das fibras nas celuloses não-branqueadas de *P. caribaea* var. *hondurensis*.

C. Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamento	1	0,001125	0,034 n.s.
Resíduo	18	0,032669	

n.s. - não significativo

Tabela 29. Espessura de parede das fibras nas celuloses não-branqueadas de *P. caribaea* var. *hondurensis*.

Repetição	Espessura de parede das fibras ( $\mu$ )	
	madeira não-descascada	madeira descascada
1a.	12,10	11,89
2a.	11,89	12,20
3a.	11,98	11,81
4a.	11,90	12,10
5a.	11,90	11,90
6a.	12,20	11,81
7a.	12,17	12,21
8a.	11,91	12,10
9a.	11,81	11,98
10a.	12,21	11,91
Média	12,01	11,99
C.V. (%)	1,25	1,25

Tabela 30. Análise de variância para espessura de parede das fibras nas celuloses não-branqueadas de *P. caribaea* var. *hondurensis*.

C. Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamento	1	0,00128	0,057 n.s.
Resíduo	18	0,022516	
Total	19		

n.s. - não significativo

5.1.5. Propriedades físico-mecânicas da celulose não-branqueada de *P. caribaea* var. *hondurensis*

5.1.5.1. Peso específico aparente

Os resultados referentes a equação de regressão simples para madeira não-descascada e descascada são mostrados na Tabela 31. Os resultados referentes ao teste de comparação entre duas linhas de regressão são mostrados na Tabela 32.

Tabela 31. Regressão simples para peso específico aparente das celuloses de madeira não-descascada e descascada de *P. caribaea* var. *hondurensis*.

	Celulose	
	madeira não-descascada	madeira descascada
Modelo	$Y = A + B/X$	$Y = A + B/X$
A	0,6286	0,6280
B	-2,6390	-3,0161
Teste "t" (B)	9,24**	9,82**
Teste F	85,49**	96,56**
Coef. correlação (r)	0,9316	0,9387
Coef. variação (%)	5,97	5,84

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 32. Teste de comparação entre duas linhas de regressão para peso específico aparente.

	Valor de F
Calculado	1,40
Tabela	3,37

## 5.1.5.2. Porosidade

Os resultados referentes a equação de regressão simples para madeira não-descascada e descascada são mostrados na Tabela 33. Os resultados referentes ao teste de comparação entre duas linhas de regressão são mostrados na Tabela 34.

Tabela 33. Regressão simples para porosidade das celuloses de madeira não-descascada e descascada de *P. caribaea* var. *hondurensis*.

Modelo	Celulose	
	madeira não-descascada	madeira descascada
	$Y = A + B/X$	$Y = A + B/X$
A	-37,3439	-25,9152
B	1,9291	1,3979
Teste "t" (B)	6,74**	9,00**
Teste F	45,47**	81,16**
Coef. correlação (r)	0,8818	0,9284
Coef. variação (%)	66,19	45,76

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 34. Teste de comparação entre duas linhas de regressão para porosidade.

	Valor de F
Calculado	2,21
Tabela	3,37

### 5.1.5.3. Resistência à dobras

Os resultados referentes à equação de regressão simples para madeira não-descascada e descascada são mostrados na Tabela 35. Os resultados referentes ao teste de comparação entre duas linhas de regressão são mostrados na Tabela 36.

Tabela 35. Regressão simples para resistência à dobras das celuloses de madeira não-descascada e descascada de *P. caribaea* var. *hondurensis*.

	Celulose	
	madeira não-descascada	madeira descascada
Modelo	$LN(Y) = A + B(1/X)$	$LN(Y) = A + B(1/X)$
A	7,8976	8,5596
B	-43,9988	-61,8095
Teste "t" (B)	6,06**	6,01**
Teste F	36,81**	36,17**
Coef. correlação (r)	0,8597	0,8597
Coef. variação (%)	12,95	16,24

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 36. Teste de comparação entre duas linhas de regressão para resistência à dobras.

	Valor de F
Calculado	1,04
Tabela	3,37

## 5.1.5.4. Resistência ao rasgo

Os resultados referentes a equação de regressão simples para madeira não-descascada e descascada são mostrados na Tabela 37. Os resultados referentes ao teste de comparação entre duas linhas de regressão são mostrados na Tabela 38.

Tabela 37. Regressão simples para resistência ao rasgo das celuloses de madeira não-descascada e descascada de *P. caribaea* var. *hondurensis*.

	Celulose	
	madeira não-descascada	madeira descascada
Modelo	$\text{LOG}(Y) = A + B \text{LOG}(X)$	$\text{LOG}(Y) = A + B \text{LOG}(X)$
A	6,1098	6,3686
B	-0,3124	0,3639
Teste "t" (B)	10,43**	11,83**
Teste F	109,56**	139,96**
Coef. correlação (r)	0,9454	0,9566
Coef. variação (%)	1,42	1,48

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 38. Teste de comparação entre duas linhas de regressão para resistência ao rasgo.

	Valor de F
Calculado	5,44
Tabela	3,37

## 5.1.5.5. Resistência ao arrebentamento

Os resultados referentes a equação de regressão simples para madeira não-descascada e descascada são mostrados na Tabela 39. Os resultados referentes ao teste de comparação entre duas linhas de regressão são mostrados na Tabela 40.

Tabela 39. Regressão simples para resistência ao arrebentamento das celulosas de madeira não-descascada e descascada de *P. caribaea* var. *hondurensis*.

	Celulose	
	madeira não-descascada	madeira descascada
Modelo	$Y = A + B/X$	$Y = A + B/X$
A	64,3424	52,2426
B	-469,6493	-425,8348
Teste "t" (B)	6,31**	8,02**
Teste F	39,87**	64,40**
Coef. correlação (r)	0,8684	0,9122
Coef. variação (%)	17,96	14,48

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 40. Teste de comparação entre duas linhas de regressão para resistência ao arrebentamento.

	Valor de F
Calculado	8,82
Tabela	3,37

## 5.1.5.6. Resistência à tração

Os resultados referentes a equação de regressão simples para madeira não-descascada e descascada são mostrados na Tabela 41. Os resultados referentes ao teste de comparação entre duas linhas de regressão são mostrados na Tabela 42.

Tabela 41. Regressão simples para resistência à tração das celulosas de madeira não-descascada e descascada de *P. caribaea* var. *hondurensis*.

	Celulose	
	madeira não-descascada	madeira descascada
Modelo	$Y = A + B/X$	$Y = A + B/X$
A	8771,1824	7229,8550
B	-61242,7064	-56757,7013
Teste "t" (B)	7,97**	7,76**
Teste F	63,58**	60,34**
Coef. correlação (r)	0,9112	0,9070
Coef. variação (%)	13,36	14,16

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 42. Teste de comparação entre duas linhas de regressão para resistência à tração.

	Valor de F
Calculado	11,65
Tabela	3,37

## 5.2. Celulose de *Eucalyptus grandis*

### 5.2.1. Cozimentos

#### 5.2.1.1. Número de Permanganato

Os números de permanganato das celuloses de todos os cozimentos realizados para *E. grandis* situaram-se entre 16,0 e 17,0 conforme fora pré-estabelecido.

#### 5.2.1.2. Rendimento em celulose (bruta e depurada) e teor de rejeitos

Os resultados encontrados para rendimento em celulose, teor de rejeitos e as respectivas análises estatísticas são mostrados nas Tabelas de 43 a 48.

Tabela 43. Rendimentos em celulose bruta dos cozimentos de madeira não-descascada e descascada de *E. grandis*.

Repetição	Rendimento em celulose bruta (%)	
	madeira não-descascada	madeira-descascada
1a.	50,5	52,2
2a.	50,3	52,7
3a.	49,9	52,2
4a.	50,2	51,9
5a.	50,6	52,1
Média	50,3	52,2
C.V. (%)	0,54	0,58

Tabela 44. Análise de variância para rendimento em celulose bruta dos cozimentos de *E. grandis*.

C. Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamento	1	9,22	115,25 **
Resíduo	8	0,08	
Total	9		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 45. Rendimentos em celulose depurada dos cozimentos de madeira não -  
-descascada e descascada de *E. grandis*.

Repetição	Rendimento em celulose depurada (%)	
	madeira não-descascada	madeira descascada
1a.	50,2	51,8
2a.	50,0	52,4
3a.	49,6	51,8
4a.	49,9	51,5
5a.	50,3	51,8
Média	50,0	51,9
C.V. (%)	0,54	0,64

Tabela 46. Análise de variância para rendimento em celulose depurada dos co-  
zimentos de *E. grandis*.

C. Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamento	1	8,65	96,11 **
Resíduo	8	0,09	
Total	9		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 47. Teor de rejeitos das celuloses obtidas dos cozimentos de madeira não-descascada e descascada de *E. grandis*.

Repetição	Teor de rejeitos (%)	
	madeira não-descascada	madeira descascada
1a.	0,30	0,40
2a.	0,30	0,39
3a.	0,30	0,40
4a.	0,30	0,40
5a.	0,30	0,40
Média	0,30	0,40
C.V. (%)	0,00	0,00

Tabela 48. Análise de variância para teor de rejeitos das celuloses dos cozimentos de madeira não-descascada e descascada de *E. grandis*.

C. Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamento	1	0,00025	1,00 n.s.
Resíduo	8	0,00025	
Total	9		

n.s. - não significativo

5.2.2. Análises químicas das celulosas não-branqueadas de *E. grandis*

Os resultados das análises químicas das celulosas e suas respectivas análises estatística são mostrados nas Tabelas de 49 a 54.

Tabela 49. Teor de holocelulose das celulosas não-branqueadas de *E. grandis*.

Repetição	Teor de holocelulose (%)	
	madeira não-descascada	madeira descascada
1a.	97,3	95,0
2a.	98,1	95,4
3a.	97,8	95,2
4a.	96,0	96,3
5a.	95,9	95,7
6a.	96,0	96,0
7a.	94,3	96,2
8a.	95,7	96,4
9a.	95,0	96,3
Média	96,2	95,8
C.V. (%)	1,32	0,55

Tabela 50. Análise de variância para teor de holocelulose das celulosas não-branqueadas de *E. grandis*.

C. Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamento	1	0,72	0,77 n.s.
Resíduo	16	0,94	
Total	17		

n.s. - não significativo

Tabela 51. Teor de pentosanas das celuloses não-branqueadas de *E. grandis*.

Repetições	Teor de pentosanas (%)	
	madeira não-descascada	madeira descascada
1a.	18,0	16,8
2a.	19,0	17,7
3a.	18,5	15,8
4a.	16,3	18,9
5a.	17,7	16,2
6a.	17,0	17,8
7a.	16,2	15,8
8a.	15,8	18,6
9a.	16,0	16,8
Média	17,2	17,1
C.V. (%)	6,86	5,73

Tabela 52. Análise de variância para teor de pentosanas das celuloses não-branqueadas de *E. grandis*.

C. Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamento	1	21,56	1,17 n.s.
Resíduo	16	18,31	
Total	17		

n.s. - não significativo

Tabela 53. Teor de cinzas das celulose não-branqueadas de *E. grandis*.

Repetição	Teor de cinzas (%)	
	madeira não-descascada	madeira descascada
1a.	0,9	0,9
2a.	0,8	0,8
3a.	0,9	0,8
4a.	0,8	0,7
5a.	0,9	0,9
6a.	0,9	0,8
7a.	0,9	0,8
8a.	0,9	0,8
9a.	0,9	0,8
Média	0,9	0,8
C.V. (%)	4,44	7,50

Tabela 54. Análise de variância para teor de cinzas das celuloses não-branqueadas de *E. grandis*.

C. Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamento	1	0,0200	7,41 *
Resíduo	16	0,0027	
Total	17		

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade

### 5.2.3. Propriedades Óticas das celuloses não-branqueadas de *E. grandis*

Os resultados encontrados para as propriedades óticas e as respectivas análises estatísticas são mostrados nas Tabelas de 55 a 58.

Tabela 55. Alvura das celuloses não-branqueadas de *E. grandis*.

Repetição	Alvura (%)	
	madeira não-descascada	madeira descascada
1a.	30,0	37,0
2a.	33,0	38,0
3a.	32,0	37,8
4a.	31,0	36,8
5a.	30,5	37,8
6a.	29,5	37,8
7a.	31,5	37,6
8a.	32,5	38,0
9a.	31,2	38,0
10a.	32,0	39,6
11a.	32,2	36,0
12a.	31,4	37,6
Média	31,4	37,7
C.V. (%)	3,28	2,28

Tabela 56. Análise de variância para alvura das celuloses não-branqueadas de *E. grandis*.

C. Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamento	1	235,63	261,81 **
Resíduo	22	0,90	
Total	23		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 57. Opacidade das celuloses não-branqueadas de *E. grandis*.

Repetição	Opacidade (%)	
	madeira não-descascada	madeira descascada
1a.	67,9	61,0
2a.	69,1	62,5
3a.	68,5	65,0
4a.	69,0	60,2
5a.	68,5	62,6
6a.	69,0	62,2
7a.	69,5	61,2
8a.	68,7	61,6
9a.	68,3	61,6
10a.	68,2	60,9
11a.	68,0	62,2
12a.	68,6	63,5
Média	68,6	62,0
C.V. (%)	0,70	2,08

Tabela 58. Análise de variância para opacidade das celuloses não-branqueadas de *E. grandis*.

C. Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamento	1	258,73	272,35 **
Resíduo	22	0,95	
Total	23		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

#### 5.2.4. Análise anatômica das fibras nas celulosas não-branqueadas de *E. grandis*.

Os resultados das análises anatômicas das fibras e as respectivas análises estatísticas são mostrados nas Tabelas de 59 a 66.

Tabela 59. Comprimento das fibras nas celulosas não-branqueadas de *E. grandis*.

Repetição	Comprimento das fibras (mm)	
	madeira não-descascada	madeira descascada
1a.	0,87	0,89
2a.	0,86	0,90
3a.	0,90	0,87
4a.	0,88	0,91
5a.	0,85	0,85
6a.	0,85	0,86
7a.	0,91	0,90
8a.	0,87	0,86
9a.	0,90	0,87
10a.	0,89	0,91
Média	0,88	0,88
C.V. (%)	2,27	2,27

Tabela 60. Análise de variância para comprimento das fibras nas celulosas não-branqueadas de *E. grandis*.

C. Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamento	1	0,00008	0,17 n.s.
Resíduo	18	0,00048	
Total	19		

n.s. - não significativo

Tabela 61. Largura das fibras nas celuloses não-branqueadas de *E. grandis*.

Repetição	Largura das fibras ( $\mu$ )	
	madeira não-descascada	madeira descascada
1a.	17,18	17,21
2a.	17,10	16,98
3a.	17,97	17,88
4a.	17,08	16,91
5a.	16,90	17,21
6a.	17,25	17,12
7a.	17,87	17,08
8a.	16,99	17,10
9a.	17,98	17,21
10a.	17,10	17,30
Média	17,34	17,18
C.V. (%)	2,42	1,51

Tabela 62. Análise de variância para largura das fibras nas celuloses não-branqueadas de *E. grandis*.

C. Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamento	1	0,10082	0,80 n.s.
Resíduo	18	0,1253	
Total	19		

n.s. - não significativo

Tabela 63. Diâmetro do lúmen das fibras nas celuloses não-branqueadas de *E. grandis*.

Repetição	Diâmetro do lúmen das fibras ( $\mu$ )	
	madeira não-descascada	madeira descascada
1a.	6,83	6,32
2a.	6,94	7,12
3a.	7,52	7,42
4a.	7,26	6,98
5a.	6,56	6,95
6a.	7,53	7,13
7a.	7,21	7,52
8a.	6,99	7,53
9a.	7,32	6,95
10a.	7,43	7,43
Média	7,16	7,14
C.V. (%)	4,47	5,18

Tabela 64. Análise de variância para diâmetro do lúmen das fibras nas celuloses não-branqueadas de *E. grandis*.

C. Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamento	1	0,00288	0,024 n.s.
Resíduo	18	0,119618	
Total	19		

n.s. - não significativo

Tabela 65. Espessura de parede das fibras nas celuloses não-branqueadas de *E. grandis*.

Repetição	Espessura de parede das fibras ( $\mu$ )	
	madeira não-descascada	madeira descascada
1a.	5,18	5,23
2a.	5,08	4,86
3a.	5,23	5,17
4a.	4,91	5,21
5a.	5,17	4,91
6a.	4,86	5,23
7a.	4,96	4,73
8a.	5,12	5,08
9a.	4,71	5,17
10a.	5,31	5,03
Média	5,05	5,06
C.V. (%)	3,76	3,56

Tabela 66. Análise de variância para espessura de parede das fibras nas celuloses não-branqueadas de *E. grandis*.

C. Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamento	1	0,000405	0,012 n.s.
Resíduo	18	0,032976	
Total	19		

n.s. - não significativo

### 5.2.5. Propriedades físico-mecânicas da celulose não-branqueada de *E. grandis*

#### 5.2.5.1. Peso específico aparente

Os resultados referentes a equação de regressão simples para madeira não-descascada e descascada são mostrados na Tabela 67. Os resultados referentes ao teste de comparação entre duas linhas de regressão são mostrados na Tabela 68.

Tabela 67. Regressão simples para peso específico aparente das celuloses de madeira não-descascada e descascada de *E. grandis*.

	Celulose	
	madeira não-descascada	madeira descascada
Modelo	$Y = A + B \text{LN}(X)$	$Y = A + B \text{LN}(X)$
A	0,2109	0,2383
B	0,1030	0,0927
Teste "t" (B)	18,53**	13,40**
Teste F	343,56**	179,75**
Coef. correlação (r)	0,9816	0,9657
Coef. variação (%)	2,70	3,20

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 68. Teste de comparação entre duas linhas de regressão para peso específico.

	Valor de F
Calculado	1,66
Tabela	3,37

## 5.2.5.2. Porosidade

Os resultados referentes a equação de regressão simples para madeira não-descascada e descascada são mostrados na Tabela 69. Os resultados referentes ao teste de comparação entre duas linhas de regressão são mostrados na Tabela 70.

Tabela 69. Regressão linear para porosidade das celuloses de madeira não-descascada e descascada de *E. grandis*.

	Celulose	
	madeira não-descascada	madeira descascada
Modelo	$LN(Y) = A + BX$	$LN(Y) = A + BX$
A	-0,9867	-0,6335
B	0,0892	0,0705
Teste "t" (B)	18,37 **	20,29 **
Teste F	337,76 **	411,85 **
Coef. correlação (r)	0,9813	0,9845
Coef. variação (%)	15,74	11,77

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 70. Teste de comparação entre duas linhas de regressão para porosidade.

	Valor de F
Calculado	10,03
Tabela	3,37

## 5.2.5.3. Resistência a dobras

Os resultados referentes a equação de regressão simples para madeira não-descascada e descascada são mostrados na Tabela 71. Os resultados referentes ao teste de comparação entre duas linhas de regressão são mostrados na Tabela 72.

Tabela 71. Regressão simples para resistência a dobras das celuloses de madeira não-descascada e descascada de *E. grandis*.

	Celulose	
	madeira não-descascada	madeira descascada
Modelo	$LN(Y) = A + B(1/X)$	$LN(Y) = A + B(1/X)$
A	8,8419	8,1945
B	-64,3493	-60,8042
Teste "t" (B)	18,92**	14,46**
Teste F	358,24**	209,05**
Coef. correlação (r)	0,9823	0,9702
Coef. variação (%)	8,101	9,3617

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 72. Teste de comparação entre duas linhas de regressão para resistência a dobras.

	Valor de F
Calculado	3,72
Tabela	3,37

## 5.2.5.4. Resistência ao rasgo

Os resultados referentes a equação de regressão simples para madeira não-descascada e descascada são mostrados na Tabela 73. Os resultados referentes ao teste de comparação entre duas linhas de regressão são mostrados na Tabela 74.

Tabela 73. Regressão simples para resistência ao rasgo das celuloses de madeira não-descascada e descascada de *E. grandis*.

	Celulose	
	madeira não-descascada	madeira descascada
Modelo	$LN(Y) = A + B(1/X)$	$LN(Y) = A + B(1/X)$
A	4,8892	4,8246
B	-11,0935	-7,7076
Teste "t" (B)	11,66**	7,22**
Teste F	136,13**	52,08**
Coef. correlação (r)	0,9554	0,8945
Coef. variação (%)	2,76	3,43

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 74. Teste de comparação entre duas linhas de regressão para resistência ao rasgo.

	Valor de F
Calculado	4,94
Tabela	3,37

## 5.2.5.5. Resistência ao arrebentamento

Os resultados referentes a equação de regressão simples para madeira não-descascada e descascada são mostrados na Tabela 75. Os resultados referentes ao teste de comparação entre duas linhas de regressão são mostrados na Tabela 76.

Tabela 75. Regressão simples para resistência ao arrebentamento das celuloses de madeira não-descascada e descascada de *E. grandis*.

	Celulose	
	madeira não-descascada	madeira descascada
Modelo	$LN(Y) = A + B(1/X)$	$LN(Y) = A + B(1/X)$
A	4,6600	4,4829
B	-20,1148	-18,9135
Teste "t" (B)	25,57**	14,98**
Teste F	653,69**	224,60**
Coef. correlação (r)	0,9902	0,9723
Coef. variação (%)	2,99	4,37

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 76. Teste de comparação entre duas linhas de regressão para resistência ao arrebentamento.

	Valor de F
Calculado	3,42
Tabela	3,37

## 5.2.5.6. Resistência à tração

Os resultados referentes a equação de regressão simples para madeira não-descascada e descascada são mostrados na Tabela 77. Os resultados referentes ao teste de comparação entre duas linhas de regressão são mostrados na Tabela 78.

Tabela 77. Regressão simples para resistência a tração das celuloses de madeira não-descascada e descascada de *E. grandis*.

	Celulose	
	madeira não-descascada	madeira descascada
Modelo	$LN(Y) = A + B(1/X)$	$LN(Y) = A + B(1/X)$
A	9,3699	9,2247
B	-12,5204	-11,2647
Teste "t" (B)	18,97 **	11,97 **
Teste F	359,81 **	143,50 **
Coef. correlação (r)	0,9824	0,9575
Coef. variação (%)	1,0769	1,39

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 78. Teste de comparação entre duas linhas de regressão para resistência a tração.

	Valor de F
Calculado	3,34
Tabela	3,37

5.2.6. Branqueamento da celulose de *E. grandis*

Os resultados dos rendimentos dos branqueamentos e análise estatística são mostrados nas Tabelas 79 e 80.

Tabela 79. Rendimentos dos branqueamentos da celulose de *E. grandis*.

Repetição	Rendimento dos branqueamentos (%)	
	madeira não-descascada	madeira descascada
1a.	97,8	98,3
2a.	98,0	97,7
3a.	98,2	98,0
4a.	98,0	98,1
5a.	97,9	98,0
Média	98,0	98,0
C.V. (%)	0,15	0,22

Tabela 80. Análise de variância para rendimentos dos branqueamentos da celulose de *E. grandis*.

C. Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamento	1	0,004	0,12 n.s.
Resíduo	8	0,0345	
Total	9		

n.s. - não significativo

### 5.2.7. Rendimento médio final em celulose branqueada de *E. grandis*

Os resultados dos rendimentos finais médios em celulose branqueada são mostrados na Tabela 81.

Tabela 81. Rendimento médio final em celulose branqueada de *E. grandis*.

	Rendimento final em celulose branqueada (%)
Madeira não-descascada	49,0
Madeira descascada	50,8

### 5.2.8. Análises químicas das celulosas branqueadas de *E. grandis*

Os resultados encontrados para as análises químicas e as respectivas estatísticas são mostrados nas Tabelas de 82 a 85.

Tabela 82. Teor de holocelulose da celulose branqueada de *E. grandis*.

Repetição	Teor de holocelulose (%)	
	madeira não-descascada	madeira descascada
1a.	98,7	98,5
2a.	98,9	98,4
3a.	98,8	98,5
4a.	99,0	98,0
5a.	98,4	99,4
6a.	98,7	98,7
7a.	99,1	98,3
8a.	98,7	99,5
9a.	98,9	98,9
Média	98,8	98,7
C.V. (%)	0,21	0,51

Tabela 83. Análise de variância para teor de holocelulose da celulose branqueada de *E. grandis*.

C. Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamento	1	0,0556	0,38 n.s.
Resíduo	16	0,1456	
Total	17		

n.s. - não significativo

Tabela 84. Teor de cinzas da celulose branqueada de *E. grandis*.

Repetição	Teor de cinzas (%)	
	madeira não-descascada	madeira descascada
1a.	0,9	0,9
2a.	1,0	0,9
3a.	1,0	0,9
4a.	1,1	0,9
5a.	0,8	1,0
6a.	1,0	0,9
7a.	0,9	0,9
8a.	1,0	0,9
9a.	1,0	0,9
Média	1,0	0,9
C.V. (%)	9,00	3,33

Tabela 85. Análise de variância para teor de cinzas da celulose branqueada de *E. grandis*.

C. Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamento	1	0,0139	3,23 n.s.
Resíduo	16	0,0043	
Total	17		

n.s. - não significativo

5.2.9. Propriedades óticas das celuloses branqueadas de *E. grandis*

Os resultados e análises estatísticas das propriedades óticas são mostrados nas Tabelas de 86 a 89.

Tabela 86. Alvura da celulose branqueada de *E. grandis*.

Repetição	Alvura (%)	
	madeira não-descascada	madeira descascada
1a.	79,0	82,2
2a.	83,0	84,2
3a.	81,5	83,0
4a.	80,5	83,4
5a.	80,0	83,0
6a.	81,6	83,5
7a.	82,2	85,0
8a.	83,8	84,5
9a.	81,5	84,0
10a.	83,5	84,4
11a.	82,0	84,2
12a.	83,0	83,8
Média	81,8	83,8
C.V. (%)	1,76	0,93

Tabela 87. Análise de variância para alvura da celulose branqueada de *E. grandis*.

C. Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamento	1	23,21	17,19 **
Resíduo	22	1,35	
Total	23		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 88. Opacidade da celulose branqueada de *E. grandis*.

Repetição	Opacidade (%)	
	madeira não-descascada	madeira descascada
1a.	68,0	63,0
2a.	68,5	62,5
3a.	70,0	64,5
4a.	69,5	64,0
5a.	69,0	63,3
6a.	70,8	63,0
7a.	71,0	64,7
8a.	69,2	65,0
9a.	68,0	63,0
10a.	67,3	64,8
11a.	68,6	64,6
12a.	69,3	62,8
Média	69,1	63,8
C.V. (%)	1,62	1,44

Tabela 89. Análise de variância para a opacidade da celulose branqueada de *E. grandis*.

C. Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamento	1	170,67	162,54 **
Resíduo	22	1,05	
Total	23		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

5.2.10. Viscosidade da celulose branqueada de *E. grandis*

Os resultados encontrados para viscosidade e análise estatística são mostrados nas Tabelas 90 e 91.

Tabela 90. Viscosidade da celulose branqueada de *E. grandis*.

Repetição	Viscosidade (cp)	
	madeira não-descascada	madeira descascada
1a.	13,8	14,4
2a.	14,5	14,8
3a.	14,0	13,9
4a.	14,2	14,2
5a.	13,9	13,8
6a.	14,5	14,6
7a.	14,0	14,2
8a.	14,6	14,0
9a.	14,2	14,7
Média	14,2	14,3
C.V. (%)	2,04	2,52

Tabela 91. Valores de F da análise de variância da viscosidade da celulose branqueada de *E. grandis*.

C. Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamento	1	0,0450	0,42 n.s.
Resíduo	16	0,1061	
Total	17		

n.s. - não significativo

## 6. DISCUSSÃO

### 6.1. *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

#### 6.1.1. Caracterização da madeira e da casca

Com relação à caracterização da madeira e da casca em termos de propriedades físicas, merece destaque o fato da densidade básica da casca mostrar-se superior a da madeira. Este fato pode ser explicado como devido ao alto teor de extrativos existentes na casca desta espécie e que teria proporcionado a elevação da densidade estando de acordo com a teoria proposta por *WENZL (1970)*.

Quanto à composição química destaque-se na casca o mais baixo teor de celulose e pentosanas e o mais alto teor de lignina e extrativos quando comparada à madeira da espécie.

### 6.1.2. Produção de celulose (cozimentos)

Para a obtenção de celuloses comparáveis à um mesmo grau de deslignificação (número de permanganato =  $24,5 \pm 1,0$ ), as condições exigidas nos cozimentos de madeira não-descascada, foram praticamente as mesmas que as exigidas para madeira descascada. Para obtenção de celulose não-branqueada com número de permanganato situado na faixa estipulada foi necessário somente o acréscimo de 1% no teor de álcali ativo do licor de cozimento da madeira não-descascada, mantendo-se constante as demais variáveis. Esta exigência maior em álcali ativo para madeira não-descascada pode ser explicada pelo mais alto teor de extrativos e lignina presentes na casca conforme *MARTIM e BROWN (1952)*.

Concordando com resultados obtidos por *SAMUELS e GLENIE (1958)* e *HORN (1972)*, houve redução nos rendimentos dos cozimentos, quando do uso de madeira não-descascada. Para a espécie em questão houve um decréscimo de 3,6% no rendimento tanto em termos de celulose bruta como para celulose depurada. Essa diferença, estatisticamente significativa, mostrou ser a presença de casca prejudicial com relação aos rendimentos. A presença de 20% de casca no lugar da madeira nos cozimentos de madeira não-descascada como um material de mais baixo teor de celulose e pentosanas pode explicar tal fato.

Com relação aos teores de rejeitos os mesmos podem ser considerados normais para as condições de cozimentos empregadas para a espécie tanto para madeira não-descascada como para madeira descascada. A presença da casca não exerceu influência sobre conteúdo de rejeitos da celulose.

### 6.1.3. Caracterização das celuloses não-branqueadas

#### 6.1.3.1. Análises químicas quantitativas

Com relação à composição química da celulose não-branqueada, tanto os resultados obtidos para a celulose de madeira não-descascada como aqueles obtidos para a celulose de madeira descascada não apresentaram diferenças quanto aos teores de holocelulose, pentosanas e cinzas.

Apesar das diferenças químicas detectadas entre a casca e a madeira, o teor de casca presente nos cozimentos não foi suficiente para influir sobre as propriedades químicas da celulose não-branqueada.

Estes resultados inclusive estão de acordo com aqueles obtidos para *P. echinata* por MARTIN e BROWN (1956) e para *Alnus rubra* e *Populus euroamericana* por AUCHTER (1973). Os autores concluíram que a presença de casca causou efeito nocivo menor do que se esperava nas propriedades químicas da celulose kraft destas espécies.

#### 6.1.3.2. Propriedades óticas

O teor da casca presente nos cozimentos de madeira não-descascada exerceu influência significativa sobre as mesmas. A alvura da celulose não-branqueada obtida de madeira não-descascada mostrou-se inferior em cerca de 6,0% em relação à celulose obtida de madeira descascada. Com relação à opacidade houve por sua vez um acréscimo de 6,0% para a celulose obtida de madeira não-descascada.

### 6.1.3.3. Análise anatômicas das fibras

Relativamente às dimensões das fibras, o comprimento, a largura, o diâmetro do lúmen e a espessura da parede não sofreram nenhuma influência em face da presença de casca nos cozimentos de madeira não-descascada. Ao contrário do observado, *AUCHTER (1973)* encontrou para *Populus euroamericana* resultados que mostraram haver redução no comprimento médio das fibras devido à presença de casca nos cozimentos.

### 6.1.3.4. Propriedades físico-mecânicas

As propriedades físico-mecânicas das celuloses não-branqueadas de *P. caribaea* var. *hondurensis* foram analisadas quanto ao comportamento das curvas de suas equações de regressão em função do grau de refinação ( $^{\circ}\text{SR}$ ).

A aplicação do teste de comparação entre linhas de regressão revelou igualdade estatística entre as celuloses obtidas no que diz respeito ao peso específico, porosidade e resistência à dobras. Com relação à resistência ao rasgo, resistência ao arrebentamento e resistência a tração houve diferenças entre as celuloses. No caso da resistência ao rasgo a presença da casca junto à madeira fez com que houvesse uma diminuição da mesma, para a celulose obtida de madeira não-descascada. Ao longo da refinação a celulose de madeira não-descascada apresentou valores inferiores. No caso da resistência ao arrebentamento e tração a presença de casca fez com que se observasse uma superioridade nos valores dessas resistências ao longo da refinação.

Em resumo, com excessão da resitência ao rasgo, as demais propriedades físico-mecânicas de celulose de madeira não-descascada se igualaram e algumas vezes suplantaram de modo significativo as propriedades físico-mecânicas da celulose de madeira descascada.

## 6.2. *Eucalyptus grandis*

### 6.2.1. Caracterização da madeira e da casca

Com relação à densidade básica, a madeira do eucalipto apresentou um resultado médio inferior aos valores normalmente encontrados para a espécie nesta idade. A casca por sua vez apresentou densidade inferior à da madeira.

Nas análises químicas deve-se destacar o teor de celulose encontrado na casca e que deve ser considerado razoável se a considerarmos como matéria-prima para produção de celulose nos cozimentos. Quanto a lignina, seu teor foi mais baixo na casca que na madeira. Convém salientar que *BROWNING (1963)* cita a ocorrência de solubilização de uma boa parte da lignina da casca quando se aplica o método de análise utilizado neste trabalho. Tal fato talvez tenha se sucedido neste caso.

Destaca-se ainda um mais alto teor de extrativos e cinzas na casca que na madeira.

O teor de pentosanas foi semelhante tanto para casca como para madeira, estando de acordo com resultados obtidos por *MARTIN e BROWN (1956)* em estudos com *P. echinata*.

### 6.2.2. Produção de celulose (cozimentos)

Na obtenção de celuloses comparáveis à um mesmo grau de deslignificação (número de permanganato =  $17,0 \pm 1,0$ ), as condições exigidas nos cozimentos de madeira não-descascada foram praticamente as mesmas exigidas para madeira descascada. Tal qual ocorreu para o *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para a obtenção de celulose não-branqueada com o número de permanganato visado necessitou-se somente do acréscimo de 1% no teor de álcali ativo do licor.

Nos cozimento de madeira não-descascada observou-se uma redução média de 2% nos rendimentos em celulose. Essa redução embora estatisticamente significativa, se comparada com a apresentada pela madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* foi inferior. Isto pode ser explicado pelo menor teor de casca presente nos cozimentos com madeira não-descascada de eucalipto aliada à sua melhor composição química.

A redução nos rendimento em celuloses devido a presença de casca é confirmada por estudos realizados com madeira de folhosas por *KAWASE e SUSUKI (1967)*, *WIEDERMANN (1972)* e particularmente para o eucalipto por *FOELKEL et alii (1977)*.

Com relação aos teores de rejeitos, os mesmos podem ser considerados normais para as condições de cozimento empregadas para a espécie, tanto para madeira não-descascada como para madeira descascada. A presença da casca não exerceu influência significativa sobre o conteúdo de rejeitos das celuloses nas condições utilizadas para suas obtenções.

### 6.2.3. Caracterização das celuloses não-branqueadas

#### 6.2.3.1. Análises químicas quantitativas

Os resultados obtidos para teor de holocelulose e pentosanas das celuloses foram estatisticamente semelhantes. Diferenças foram sentidas quanto a teor de cinzas, o qual se mostrou superior na celulose de madeira não-descascada. O teor de cinzas da casca, cerca de 9,5 vezes superior ao da madeira, refletiu portanto de modo significativo sobre o teor de cinzas da celulose.

#### 6.2.3.2. Propriedades Óticas

Os resultados obtidos para a celulose de madeira não-descascada em comparação com aqueles obtidos para a celulose de madeira descascada mostraram diferenças altamente significativas quanto a alvura e opacidade. Assim é que a alvura da celulose não-branqueada de madeira não-descascada mostrou-se inferior na média, em cerca de 6,2% em relação à celulose obtida de madeira descascada. Com relação à opacidade houve por sua vez um acréscimo de 6,2% para a celulose obtida de madeira não-descascada. Particularmente para o caso de alvura os resultados estão de acordo com os de *AUCHTER (1973)* obtidos para madeira não-descascada de *Populus* spp.

#### 6.2.3.3. Análise anatômica das fibras

A análise anatômica das fibras com relação ao comprimento, largura, diâmetro do lúmen e espessura da parede nas celuloses do eucalipto

mostrou não existir nenhuma influência significativa sobre os mesmos em razão da presença de casca nos cozimentos de madeira não-descascada.

#### 6.2.3.4. Propriedades físico-mecânicas

Tal como realizado para o *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, as propriedades físico-mecânicas das celuloses não-branqueadas do *E. grandis* foram analisadas quanto ao comportamento das curvas de suas equações de regressão em função do grau de refinação ( $^{\circ}$ SR).

A aplicação do teste de comparação entre linhas de regressão revelou igualdade estatística entre a celulose de madeira não-descascada e madeira descascada, no que diz respeito ao peso específico aparente e resistência à tração. Com relação à porosidade, resistência à dobras, resistência ao rasgo e resistência ao arrebentamento o teste por sua vez revelou a existência de diferenças entre as celuloses. Para estas propriedades houve sempre uma superioridade de valores ao longo da curva de refinação para a celulose de madeira não-descascada.

Em resumo para as propriedades físico-mecânicas das celuloses a presença de casca fez com que a maioria delas mostrassem valores que suplantaram de modo significativo aqueles valores encontrados para a celulose de madeira descascada. A presença da casca no caso foi bastante benéfica, contrariamente aos resultados obtidos por *BROWN (1956)* para *Quercus* spp, o qual relata redução nas resistências físico-mecânicas da celulose de madeira não-descascada.

#### 6.2.4. Branqueamento das celuloses

##### 6.2.4.1. Rendimento dos branqueamentos e rendimento final em celulose branqueada

Com relação aos rendimentos dos branqueamentos das celuloses de eucalipto não houve diferenças significativas entre os mesmos ao se comparar os valores obtidos para celulose de madeira não-descascada e os valores obtidos para celulose de madeira descascada. Portanto, a presença de casca não exerceu influência estatisticamente significativa sobre os rendimentos dos branqueamentos.

Ao se considerar o rendimento final em celulose branqueada pode se observar a influência significativa da presença da casca. Tal como ocorreu para o caso da celulose não-branqueada, a celulose branqueada de madeira não-descascada apresentou um rendimento inferior ao de celulose de madeira descascada.

##### 6.2.4.2. Caracterização das celuloses branqueadas

###### 6.2.4.2.1. Análises químicas quantitativas

Analisadas quimicamente quanto aos teores de holocelulose e cinzas, as celuloses branqueadas de eucalipto não mostraram diferenças estatisticamente significativas entre os valores encontrados ao se comparar celulose de madeira não-descascada com celulose de madeira descascada. A presença de casca não foi portanto suficiente para influir nas propriedades químicas das celuloses branqueadas do eucalipto.

#### 6.2.4.2.2. Propriedades Óticas

Conforme ocorreu para as celuloses não-branqueadas o teor de casca presente nos cozimentos exerceu influência estatisticamente significativa sobre as propriedades óticas das celuloses branqueadas. Assim é que, a alvura da celulose branqueada obtida de madeira não-descascada apresentou valor 2,0% inferior em relação à alvura da celulose branqueada obtida de madeira descascada. Com relação à opacidade houve por sua vez um acréscimo de 5,3% em seu valor para a celulose obtida de madeira não-descascada.

No caso de coníferas *HORN e AUCHTER (1972)* encontraram também um decréscimo na alvura das celuloses branqueadas obtidas de madeira não-descascada.

#### 6.2.4.2.3. Viscosidade

Tanto a celulose branqueada obtida de madeira não-descascada como a celulose branqueada obtida de madeira descascada apresentaram valores para viscosidade que comparados estatisticamente entre si não revelaram diferenças significativas. A presença de casca não influenciou portanto nas viscosidades das celuloses branqueadas.

## 7. CONCLUSÕES

### 7.1. *P. caribaea* var. *hondurensis*

Com base nos resultados e discussões pode-se tirar as conclusões seguintes:

a. Na análise das características da casca de *P. caribaea* var. *hondurensis* comparada à da madeira foram encontrados resultados que comprovaram existirem diferenças entre as mesmas relacionadas com a produção de celulose a papel. Assim é que a casca apresentou maior teor de extrativos, maior teor de lignina e baixos teores de celulose e pentosanas. Sua densidade básica mostrou-se também maior em relação à madeira.

b. Com relação aos cozimentos para a obtenção de celulose com mesmo grau de lignina residual (N.P. =  $24,5 \pm 1,0$ ) as condições tanto para madeira não-descascada como para madeira descascada foram praticamente as mesmas com variação não-significativa de apenas 1,0% no consumo de álcali ativo.

c. Em termos de celulose bruta e depurada, os rendimentos médios dos cozimentos de madeira não-descascada se mostraram inferiores em cerca de 3,6% em relação aos de madeira descascada, diferença esta considerada estatisticamente significativa. Os teores de rejeitos foram estatisticamente semelhantes tanto na celulose obtida de madeira não-descascada como na de madeira descascada.

d. Em termos de composição química média tanto as celulosas não-branqueadas obtidas dos cozimentos de madeira não-descascada como as dos cozimentos de madeira descascada não apresentaram diferenças significativas quando estatisticamente analisadas.

e. Em termos de alvura e opacidade as celulosas não-branqueadas de madeira não-descascada se mostraram, na média, respectivamente 6,0% inferior e 6,0% superior às celulosas de madeira descascada, sendo estas diferenças estatisticamente singificativas.

f. Não houve, na média, diferenças significativas nos valores das dimensões das fibras nas celulosas não-branqueadas de madeira não-descascada e madeira descascada.

g. As propriedades físico-mecânicas das celulosas obtidas de madeira não-descascada mostraram-se estatisticamente semelhantes as de madeira descascada quando analisadas em função de suas curvas de correlação com  $\rho_{SR}$  para peso específico aparente, prosidade e resistência à dobras.

Diferenças foram encontradas entre curvas ~~para~~ a resistência ao rasgo fazendo com que a mesma se mostrasse inferior para celulose de ma-

deira não-descascada. Com relação à resistência ao arrebatamento e à tração a celulose de madeira não-descascada também mostrou curvas estatisticamente diferentes às de madeira descascada. No caso, tais resistências mostraram-se superiores para a madeira não-descascada.

### 7.2. *E. grandis*

Baseado nos resultados encontrados e discutidos pode-se tirar as seguintes conclusões:

a. Comparativamente à sua madeira a análise das características da casca frente à produção de celulose e papel mostrou que a mesma possui um teor satisfatório em celulose e pentosanas, um teor mais baixo de lignina e um teor mais alto de extrativos e cinzas. O valor da densidade básica se mostrou também inferior à madeira.

b. Para a obtenção de celulose com mesmo grau de lignina residual (N.P. =  $17,0 \pm 1,0$ ) as condições de cozimento tanto para madeira não-descascada como para madeira descascada foram praticamente as mesmas com variação de apenas 1,0% no teor de consumo de álcali ativo.

c. Em termos de celulose bruta e depurada, os rendimentos médios dos cozimentos de madeira não-descascada se mostraram inferiores em cerca de 2,1% em relação aos de madeira descascada, diferença esta considerada estatisticamente significativa. Os teores de rejeitos foram praticamente semelhantes para madeira não-descascada e madeira descascada.

d. Em termos de composição química média, tanto as celuloses

não-branqueadas obtidas dos cozimentos de madeira não-descascada como a dos cozimentos de madeira descascada não apresentaram diferenças significativas quando analisadas para teor de holocelulose e pentosanas. Quanto ao teor de cinzas, esses mostraram-se estatisticamente superiores para a celulose de madeira não-descascada.

e. Em termos de alvura e opacidade as celulosas não-branqueadas de madeira não-descascada se mostraram, na média, respectivamente 6,2% inferior e 6,2% superior às celulosas de madeira descascada, sendo estas diferenças estatisticamente significativas.

f. Não houve, na média, diferenças significativas nos valores das dimensões das fibras das celulosas não-branqueadas de madeira não-descascada e madeira descascada.

g. As propriedades físico-mecânicas das celulosas obtidas de madeira não-descascada mostraram-se semelhantes as de madeira descascada quando analisadas em função de suas curvas de correlação com o  $\rho_{SR}$  para o peso específico e resistência à tração. Diferenças estatísticas foram encontradas entre curvas mostrando-se a celulose de madeira não-descascada com valores superiores para porosidade, resistência à dobras, resistência ao rasgo e resistência ao arrebentamento.

h. Não houve diferença significativa nos rendimentos dos branqueamentos das celulosas obtidas de madeira não-descascada e descascada. Do mesmo modo o comportamento das mesmas quanto à composição química e viscosidade foram semelhantes. Com relação às propriedades óticas, as celulosas branqueadas obtidas de madeira não-descascada apresentaram menor alvu

ra e maior opacidade. Tal como ocorreu para celulose não-branqueada houve uma redução significativa no rendimento em celulose branqueada ao se utilizar madeira não-descascada.

## 8. SUMMARY

Sulphate pulping tests were made on *Pinus caribaea* Mor. var. *hondurensis* Barr. and Golf. and *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden chips of unbarked and barked wood. These tests indicate that the presence of bark (21% by weight) in the unbarked wood of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* caused: 1. increase in the consumption of active chemical during cooking; 2. decrease in yield of pulp obtained from a digester charge; 3. none alteration in the reject content; 4. none alteration in the chemical composition; 5. none alteration in fiber morphology; 6. none alteration in the apparent density, porosity and folding endurance; 7. increase in the tensile strength and bursting strength; 8. decrease in the tear strength; 9. decrease in the brightness and 10. increase in the opacity of the pulp.

The presence of bark (11% by weight) in the unbarked wood of *E. grandis* caused: 1. increase in the consumption of active chemicals during cooking; 2. decrease in yield of pulp obtained from a digester charge; 3. none alteration in the reject content; 4. increase in the ash content; 5.

none alteration in fiber morphology; 6. none alteration in the apparent density and tensile strenght; 7. increase in the porosity, folding endurance, tear strenght and bursting strenght; 8. decrease in the brightness and 9. increase in the opacity of the pulp. In the *E. grandis* bleached pulp obtained of unbarked wood, the presence of bark caused: 1. none alteration in yeld of pulp obtained from the bleachmant; 2. none alteration in the chemical composition of the pulp; 3. decrease in pulp brightness; 4. increase in pulp opacity and 5. none alteration in pulp viscosity.

## 9. LITERATURA CITADA

ARCHER, R., 1948. Técnicas de Anatomia de Madeira. *Anuário Brasileiro de Economia Florestal*. R. de Janeiro, 1:236-240.

AUCHTER, R.J., 1973. Effect of Bark Content on Pulp Properties. In: 58<sup>th</sup> Annual TAPPI Meeting, Chicago. 8 p.

AUCHTER, R.J. e R.A. HORN, 1973. Economics of Kraft Pulping of Unbarked Wood. *Paper Trade Journal* 6 (25):38-39.

BARRICHELO, L.E.G. e J.O. BRITO, 1976. *A Madeira das Espécies de Eucalipto como Matéria-Prima para a Indústria de Celulose e Papel*. Brasília, PROEPEF. 145 p. (PNUD/FAO/IBDF/BRA-45, Série Divulgação nº 13).

BARRICHELO, L.E.G. e J.O. BRITO, 1978. Instruções para Coleta de Amostras de Madeira Destinadas a Ensaio de Produção de Celulose. 7 p. mimeografado.

- BEALL, F.C., B.E. CUTTER e R.C. BALDWIN, 1970. Selected Chemical and Physical Properties of Several Bark Species. *Forest Products Journal*. Madison, 20(2):58-59.
- BROWNING, B.L., 1963. *The Chemistry of Wood*. New York, Interscience Publishers. 689 p.
- BROWNING, B.L. e L.O. SELL, 1957. The Analysis of Some Fractions of Slash Pine Bark. *T.A.P.P.I.* Atlanta, 40(5):362-365.
- BROWN, K.J., 1956. Effect of Bark in the Sulphate Pulping of a Northern Oak Mixture. *T.A.P.P.I.* Atlanta, 39(6):443-448.
- BURGON, W.J., 1964. Extracts and Reaction Products from Bark. *T.A.P.P.I.* Atlanta, 47(5):124A-126A.
- CASEY, J.P., 1960. *Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology*. Vol. I. N.York, Interscience Publishers, Inc. 580 p.
- CHANG, Y. e R.L. MITCHEL, 1955. Chemical Composition of Common North American Pulpwood Barks. *T.A.P.P.I.* Atlanta, 38(5):315-320.
- CHATTAWAY, M., 1953. The Anatomy of Bark. *Australian Journal Botany*. Sidney, 1(3):402-432.
- CHOW, S., 1977. *Some Physical Properties of Bark in Relation to Utilization*. Vancouver, Western Forest Products Laboratory. 17 p. (Information Report V.P. - X - 231).

- CRAM, K.H., J.A. EASTWOOD, F.W. KING e H. SCHWARTZ, 1947. *Chemical Composition of Western Red Cedar Bark*. Ottawa, Forest Products Laboratories. 12 p. (Dept. of Mines and Resources. Lands, Parks and Forests Branch. Dominion Forest Service, Circular 62).
- DAHM, H.P., 1963. Sulfittkoking av Barkskated virke. *Norsk Skogindustri*. Oslo, 5:1-7.
- ERICKSON, R.L., I.A. PEARL e S.F. DARLING, 1970. Studies on the Barks of the Family Salicaceae XXIV. Further Investigation of the Hot Water Extractives of *Populus grandidentata* Michx. Bark. *T.A.P.P.I.*. Atlanta, 53(2):240-244.
- FARBER, E., 1959. Chemicals from Bark. *Forest Products Journal*, Madison, 9 (4):25A-27A.
- FOELKEL, C.E.B., M.A.M. BRASIL e L.E.G. BARRICHELO, 1971. Métodos para Determinação da Densidade Básica de Cavacos para Coníferas e Folhosas *IPEF* (2/3):65-74.
- FOELKEL, C.E.B., C. ZVINAKEVICIUS, L.R.O. SIQUEIRA, J. KATO e J.O.M. ANDRADE, 1977. A Casca Desmedulada de Eucalipto: Uma Nova Opção Como Fonte de Fibras para a Indústria de Celulose Kraft. In: *X Congresso da ABCP*. São Paulo, p. 19-35.
- GRAY, G.R., 1971. pH of Southern Pine Barks. *Forest Products Journal*. Madison, 21(3):49-52.

- HARKIN, J.M. e J.W. ROWE, 1971. *Bark and its Possible Uses*. Madison, Forest Products Laboratory. 56 p. (USDA - FS - Res. Note FPL, 091)
- HAMILTON, A.D., 1950. Manufacture of Wrapper from Bark. *Pulp and Paper Mag. Canada*. Gardenvale, 51(3):205-210.
- HERGERT, H.L. e E.F. KURTH., 1952. The Chemical Nature of the Cork from Douglas-fir Bark. *T.A.P.P.I.*. Atlanta 35(2):59-66.
- HORN, R.A. e R.J. AUCHTER, 1972. Kraft Pulping of Pulpwood Chips Containing Bark. *Paper Trade Journal*. New York, 6:55-59.
- HOSSFELD, R.L. e F.H. KAUFERT, 1957. Structure and Composition of Aspen Bark. *Forest Products Journal*. Madison, 12:437-439.
- HOWARD, E.T., 1971. Bark Structure of the Southern Pines. *Wood Science*. Madison, 3(13):134-148.
- KAWASE, K. e M. SUSUKI, 1967. Fundamental Studies on the Utilization of Hardwoods Barks. *Research Bulletin of the College Experiment Forests*. Hokkaido, 25(1):211-34.
- KEAYS, J.L. e J.V. HATTON, 1974. *The Effect of Bark on Wood Pulp Yield and Quality and on the Economics of Pulp Production*. Vancouver, Western Forest Products Laboratory. 20 p. (Information Report VP-X-126).
- KELLER, E.L., 1950. Effect of Bark in the Neutral Sulphite Semichemical Pulping of Aspen, Hickory, and Slash Pine. *T.A.P.P.I.*. Atlanta, 33(11): 556-560.

- KOLENSKI, L. e F. PRIMAS, 1977. Descascamento a Seco de Eucalipto em Tambores Rotativos. In: *X Congresso da ABCP*. São Paulo, 36-39.
- KROGH, G., 1975. O Problema da Casca do Eucalipto. In: *Seminário de Integração Floresta-Indústria*. Piracicaba, IPEF, 157-164.
- LEWIS, H.F., F.E. BRAUNS, M.A. BUCHANAN e E.F. KURTH, 1944. Chemical of Bark. *Ind. and Eng. Chem.* Washington, 36(8): 759-764.
- MARTIN, J.S. e J. BROWN, 1952. Effect of Bark on Yeld and Quality of Sulphate Pulp from Southern Pine. *T.A.P.P.I.*. Atlanta, 35(1):7-10.
- MILANEZ, F. e A. BASTOS, 1960. Glossário de Termos Usados em Anatomia de Madeira. *Anuário Brasileiro de Economia Florestal*. R. de Janeiro, 12: 418-442.
- MITCHELL, R.L., 1955. Chemical Composition of Common North American Pulpwood Barks. *T.A.P.P.I.*. Atlanta, 38(5):315-320.
- MYER, J.E., 1922. Anatomical Study of Pulpwood barks. *Forestry*. London, 20:337-351.
- MURPHEY, W.K., F.C. BEAL, B.E. CUTTER e R.C. BALDWIN, 1970. Selected Chemical and Physical Properties of Several Bark Species. *Forest Products Journal*. Madison, 20(2): 58-59.
- NETER, J. e W. WASSERMAN, 1974. *Applied Linear Statistical Models* Illinois, Richard Irwin, Inc. 842 p.

- ROGER, N.F., E.L. GRIFFIN, C.S. REDFIELD e W.H. KOEPP, 1955. Pulp Chip and Tanbark from Hemlock Slabs by Air-Flotation. *Forest Products Journal*. Madison, 12:4000-4005.
- ROWE, J.W. e J.H. SCROGGINS, 1964. Benzene Extractives of Lodgepole Pine Bark. Isolation of New Diterpenes. *Journal of Organic Chemistry*. New York, 29:1554-1562.
- RYDHOLM, S.A., 1965. *Pulping Process*. N. York, Interscience Publishers, Inc. 1269 p.
- SAMUELS, R.M. e D.W. GLENNIE, 1958. Bark Tolerance of Douglas-fir Chips in Kraft Pulp Manufacture. *T.A.P.P.I.*. Atlanta, 41(5):250-254.
- SEGALL, G.H. e D.B. PURVES, 1946. Chemical Composition of Wood Barks. *Pulp and Paper Magazine of Canada*. Gardenvale, 47(3):14-19.
- SMITH, J.H.G. e A. KOZAK, 1971. Thickness, Moisture Content, and Specific Gravite of Inner and Outer Bark Some Pacific Northwest Trees. *Forest Products Journal*. Madison, 21(2):38-40.
- SPIEGEL, M.R., 1974. *Estatística*. São Paulo, Editôra McGraw-Hill do Brasil Ltda. 580 p.
- SPROUL, R.C., 1969. Fiber, Chemical and Agricultural Products from Southern Pine Bark. *Forest Products Journal*. Madison, 19(10):38-44.
- WENZL, H.F.J., 1970. *The Chemical Technology of Wood*. New York, Academic Press. 692 p.

WISE, L.E., R.C. RITTENHOUSE e C. GARCIA, 1951. Tannins of Bark. *Proc. For. Prod. Res. Soc.* Madison, 5:239-255,

WIEDERMANN, A., 1972. Kraft Pulping of Several Unbarked European Hardwoods. *T.A.P.P.I.* Atlanta, 55(8):1209-1211.

WILSNER, O., KRAKAUER, E., FEIST, J. e LEWIN, M. 1958. Laboratory and semipilot scale extraction of tannin from the bark of *E. rostrata*. *Bull. Research Council Israel. Jerusalém*, 7A:232p.

APENDICE

## Apêndice 1. Caracterização da madeira e da casca

São apresentados nas Tabelas de 92 a 95 os valores do teor de casca, densidade básica e análises químicas quantitativas da madeira e casca.

Tabela 92. Percentagem média de casca em volume e em peso no tronco, até o diâmetro de 6 cm.

Espécie	% de casca		C.V. %
	em volume	em peso	
<i>E. grandis</i>	15,9	11,0	12,01
<i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	21,5	20,9	18,23

Tabela 93. Densidade básica média (g/cm<sup>3</sup>).

Espécie		Densidade básica	C.V. (%)
<i>E. grandis</i>	madeira	0,494	2,02
	casca	0,322	3,41
<i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	madeira	0,418	7,40
	casca	0,404	13,98

Tabela 94. Análises químicas da madeira com valores médios em %.

	<i>E. grandis</i>		<i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	
	$\bar{X}$	C.V.(%)	$\bar{X}$	C.V.(%)
Teor de extrativos solúveis em:				
- água quente	6,1	0,98	3,5	19,48
- álcool-benzeno	2,6	0,00	3,4	1,43
- NaOH 1%	15,8	0,51	11,8	2,29
Teor de Celulose Cross & Bevan	52,7	0,66	56,1	1,07
Teor de Lignina	22,8	0,66	25,2	0,79
Teor de Pentosanas	16,5	1,43	8,2	1,38
Teor de Cinzas	0,2	8,82	0,1	4,00

Tabela 95. Análises químicas da casca com valores médios em %.

	<i>E. grandis</i>		<i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	
	$\bar{X}$	C.V.(%)	$\bar{X}$	C.V.(%)
Teor de extrativos solúveis em:				
- água quente	21,3	5,26	28,5	1,12
- álcool-benzeno	7,5	0,63	8,2	0,00
- NaOH 1%	36,7	0,27	59,4	0,17
Teor de Celulose C.& Bevan	44,5	0,22	22,4	0,67
Teor de Lignina	16,0	0,00	33,4	0,63
Teor de Pentosanas	16,0	1,41	2,3	0,00
Teor de Cinzas	1,9	1,87	0,4	0,00

## Apêndice 2. Dimensões das fibras das celulosas não-branqueadas

Os valores das dimensões das fibras das celulosas são mostrados nas Tabelas de 96 a 101.

Tabela 96. Comprimento médio por lâmina das fibras de celulose não-branqueada de *P. caribaea* var. *hondurensis*.

Lâmina	Madeira não-descascada		Madeira descascada	
	C	C.V.	C	C.V.
1	4,18	22,70	4,22	20,12
2	4,23	19,82	4,26	22,71
3	4,21	25,98	4,21	25,71
4	4,26	22,72	4,17	22,70
5	4,25	22,88	4,18	22,70
6	4,17	22,70	4,23	19,81
7	4,22	19,81	4,22	18,39
8	4,16	22,61	4,17	19,38
9	4,21	25,71	4,21	19,01
10	4,17	19,37	4,23	19,81

C = comprimento (mm);

C.V. = coeficiente de variação (%)

Tabela 97. Largura média por lâmina das fibras de celulose não-branqueada de *P. caribaea* var. *hondurensis*.

Lâmina	Madeira não-descascada		Madeira descascada	
	L	C.V.	L	C.V.
1	41,80	13,70	41,80	14,80
2	41,38	19,30	41,37	15,31
3	40,69	20,32	40,99	13,92
4	40,79	13,70	40,12	13,21
5	41,31	13,70	40,79	18,29
6	41,37	13,47	41,31	17,09
7	41,81	14,26	40,69	13,33
8	40,99	13,98	41,38	15,21
9	41,31	17,31	40,12	16,18
10	40,12	16,13	40,79	13,91

L = largura ( $\mu$ )

C.V. = coeficiente de variação (%)

Tabela 98. Diâmetro do lúmen médio por lâmina das fibras de celulose não-branqueada de *P. caribaea* var. *hondurensis*.

Lâmina	Madeira não-descascada		Madeira descascada	
	DL	C.V.	DL	C.V.
1	17,20	23,51	17,16	31,12
2	17,16	22,93	17,50	21,09
3	17,10	17,36	16,91	17,31
4	16,90	30,98	16,98	23,03
5	17,50	34,55	17,10	30,17
6	17,00	32,40	17,16	32,41
7	17,30	23,98	16,91	31,99
8	16,98	17,34	17,00	22,91
9	17,12	31,99	17,12	23,55
10	16,89	32,17	17,16	17,38

DL = diâmetro do lúmen ( $\mu$ )

C.V. = coeficiente de variação (%)

Tabela 99. Comprimento médio por lâmina das fibras da celulose não-branqueada de *E. grandis*.

Lâmina	Madeira não-descascada		Madeira descascada	
	C	C.V.	C	C.V.
1	0,87	22,67	0,89	23,90
2	0,86	25,10	0,90	23,12
3	0,90	23,20	0,87	24,20
4	0,88	23,67	0,91	23,19
5	0,85	24,52	0,85	23,21
6	0,85	23,31	0,86	24,50
7	0,91	23,01	0,90	23,57
8	0,87	24,19	0,86	23,10
9	0,90	23,02	0,87	24,11
10	0,89	23,91	0,91	21,89

C = comprimento (mm)

C.V. = coeficiente de variação (%)

Tabela 100. Largura média por lâminas das fibras da celulose não-branqueada de *E. grandis*.

Lâmina	Madeira não-descascada		Madeira descascada	
	L	C.V.	L	C.V.
1	17,18	14,38	17,21	17,03
2	17,10	18,58	16,98	18,29
3	17,97	17,22	17,88	19,21
4	17,08	19,18	16,91	17,12
5	16,90	17,37	17,21	15,01
6	17,25	19,53	17,12	19,15
7	17,87	15,02	17,08	16,31
8	16,99	19,15	17,10	15,81
9	17,98	17,21	17,21	16,31
10	17,10	19,03	17,13	14,12

L = largura ( $\mu$ )

C.V. = coeficiente de variação (%)

Tabela 101. Diâmetro do lúmen médio por lâmina das fibras de celulose não-branqueada de *E. grandis*.

Lâmina	Madeira não-descascada		Madeira descascada	
	DL	C.V.	DL	C.V.
1	6,83	28,60	6,32	29,30
2	6,94	35,43	7,12	29,81
3	7,52	29,80	7,42	34,18
4	7,26	34,18	6,98	32,89
5	6,56	33,22	6,95	28,71
6	7,53	31,37	7,13	29,81
7	7,21	32,98	7,52	32,14
8	6,99	28,72	7,53	28,60
9	7,32	29,81	6,95	29,80
10	7,43	32,13	7,43	31,17

DL = diâmetro do lúmen ( $\mu$ )

C.V. = coeficiente de variação (%)

### Apêndice 3. Valores das resistências físico-mecânicas obtidos para as celuloses não-branqueadas

Os valores das resistências físico-mecânicas são mostrados nas Tabelas de 102 a 105.

Tabela 102. Valores das propriedades físico-mecânicas encontrados para a celulose de *P. catibaea* var. *hondurensis* obtida de madeira não-descascada

SR	Tração (m)	Arrebatamento (Ind. Arreb.)	Rasgo (Ind Rasgo)	Dobras (Nº)	Porosidade <sub>3</sub> (seg/100 cm <sup>3</sup> )	Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )
9	2614	18,5	223	34	0	0,367
12	2617	12,4	224	17	0	0,359
13	2740	15,6	229	29	0	0,368
18	6395	49,5	166	838	1,8	0,536
19	6378	51,2	163	810	1,4	0,518
28	7285	50,2	161	1458	8,1	0,558
29	7246	52,4	153	852	7,3	0,550
36	7339	53,1	137	748	15,6	0,557
37	6097	49,8	134	895	18,5	0,563
45	6897	50,1	140	904	27,4	0,562
46	7725	59,1	144	941	25,5	0,561
53	8492	61,2	130	842	65,8	0,592
58	7426	53,0	140	885	64,8	0,556
59	7667	51,8	124	761	80,3	0,581
69	6920	47,9	121	1040	147,7	0,576

Tabela 103. Valores das propriedades físico-mecânicas encontrados para a celulose de *P. caribaea* var. *hondurensis* obtidas de madeira descascada.

°SR	Tração (m)	Arrebatamento (Ind. Arreb.)	Rasgo (Ind. Rasgo)	Dobras (N°)	Porosidade (seg/100 cm <sup>3</sup> )	Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )
12	2226	13,1	236	14	0	0,367
12	1802	12,5	208	12	0	0,359
13	2012	12,9	221	13	0	0,368
18	5446	39,1	213	1189	1,8	0,536
18	5398	38,0	212	1201	1,4	0,518
20	4918	34,0	219	557	8,1	0,518
35	5335	43,0	164	1624	7,3	0,558
38	5671	39,9	151	952	15,6	0,550
44	5711	42,5	141	1130	18,5	0,557
44	5513	45,7	162	1400	27,4	0,563
56	5989	43,3	146	1163	25,5	0,562
56	5976	40,8	132	905	65,8	0,561
64	5747	43,7	135	1140	64,8	0,592
65	6224	41,5	114	1465	80,3	0,556
68	6193	43,9	116	1396	147,7	0,576

Tabela 104. Valores das propriedades físico-mecânicas encontrados para a celulose de *Eucalyptus grandis* obtida de madeira não-descascada.

°SR	Tração (m)	Arrebitamento (Ind. Arreb.)	Rasgo (Ind Rasgo)	Dobras (Nº)	Porosidade (seg/100 cm <sup>3</sup> )	Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )
8	2590	9,1	35	5	0,8	0,431
9	2741	9,7	42	4	1,0	0,431
9	2729	11,1	46	4	0,8	0,421
23	7854	57,6	104	431	4,6	0,567
25	7319	47,4	90	152	2,6	0,546
28	7980	58,6	106	606	4,5	0,560
35	9299	64,1	108	1533	9,8	0,592
38	6899	54,6	93	1145	13,8	0,585
44	8598	64,0	112	1383	14,8	0,596
45	10047	72,8	127	2049	18,6	0,593
49	8854	66,6	111	1639	19,6	0,598
53	9043	67,3	106	1716	25,7	0,606
55	8694	71,5	111	2972	33,8	0,604
69	9689	78,2	99	4048	195,8	0,653
70	9277	71,0	88	4336	447,7	0,668

Tabela 105. Valores das propriedades físico-mecânicas encontrados para a celulose de *Eucalyptus grandis* obtida de madeira descascada.

°SR	Tração (m)	Arrebatamento (Ind. Arreb.)	Rasgo (Ind. Rasgo)	Dobras (Nº)	Porosidade (seg/100 cm <sup>3</sup> )	Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )
8	2960	11,2	61	6	1,1	0,449
10	2985	10,6	48	5	0,9	0,433
12	3085	13,4	39	7	1,1	0,445
28	7631	52,2	112	348	3,4	0,562
29	8097	55,6	100	384	5,1	0,576
29	7095	50,0	96	400	4,7	0,561
40	7436	56,8	109	931	9,1	0,578
44	8128	59,6	116	973	12,5	0,594
48	7957	57,0	104	706	21,3	0,614
51	7933	59,1	110	1020	11,7	0,581
56	9436	65,4	105	1487	27,2	0,608
58	7811	58,8	93	1452	41,1	0,616
59	7328	56,0	98	1101	20,4	0,583
62	8759	71,9	108	2035	46,3	0,622
69	8014	62,8	96	2605	82,1	0,642