ABTCP Reg. 2559

celulose kraft de pinus spp

CELSO EDMUNDO B. FOELKEL
Professor Assistente
Universidade de São Paulo Departamento de Silvicultura - Esalq Seção de Química, Celulose e Papel

PREFÁCIO

O presente estudo consiste num extrato do trabalho "Unbleached Kraft Pulp Properties of Some of the Brazilian and U. S. Pines", apresentado pelo autor em agosto de 1973 como tese de mestrado em Engenharia do Papel na State University of New York, College of Environmental Science and Forestry, Syracuse, New York, United States of America.

Parte das pesquisas foi realizada nos laboratórios da Seção de Química, Celulose e Papel do Departamento de Silvicultura da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo, onde as matérias-primas que se desenvolviam no Brasil foram estudadas e suas celuloses testadas. Outra parte foi realizada junto ao Departament of Paper Science and Engineering da State University of New York, onde duas espécies de **Pinus** norte-americanos foram analisadas.

SUMMARY

The purpose of this work was to compare wood characteristics and properties of the pulps obtained from several wood species, four of them growing in Brazil and two in the U.S.A. The four Brazilian pulpwoods, namely **Araucaria angustifolia, Pinus elliottii** var. **elliottii, Pinus taeda** and **Pinus caribaea** var. **hondurensis,** were sampled, pulped and tested in that country. The two American pulpwoods, **Pinus elliottii** var. **elliottii** (slash pine) and **Pinus taeda** (loblolly pine) were studied in the U.S.A. Fiber measurements, chemical analyses and specific gravity determinations were performed on all samples. The three species of the genus **Pinus** from Brazil were young thinned woods and had a large juvenile wood component. The woods were pulped by the kraft process to two intervals of permanganate number: 16 to 18 and 25 to 30. Handsheets were made for testing the strength properties of the pulps. Pulp properties were compared at a constant handsheet density of 0.600 g/cc. Statistical analyses were performed to test all the properties under investigation.

The young Brazilian pinewoods were characterized by low specific gravity and cellulose content. The pulps from these woods showed somewhat higher tensile strength, significantly higher burst strength, but lower tear strength when compared to **Araucaria angustifolia** pulps. Pulp yields from young woods were lower than from **Araucaria angustifolia** mature wood.

The two American southern pine species which were studied gave very strong pulps, but low yields. Comparing the two species, slash pine pulps had higher yields, breaking lengths and burst factors, while loblolly pine pulps showed higher tear factors and stretch and were more easily refined.

The effect of permanganate

number on pulp properties was also analysed. For all species, pulp yields, beating time and burst factor increased significantly when the permanganate number rose, but the tear factor decreased.

INTRODUÇAO

Os recursos naturais de pinheiro do Paraná, **Araucaria angustifolia,** estão-se exaurindo rapidamente no Brasil. A alta demanda desta madeira pelas indústrias de transformação, bem como as dificuldades encontradas na regeneração de suas florestas são as principais razões. O pinheiro do Paraná é uma espécie florestal que possui baixo rítmo de crescimento e é extremamente exigente em solo e clima. Inúmeras pesquisas estão sendo conduzidas com o objetivo de substituí-lo, em grande parte, por coníferas exóticas que possam crescer a rítimos mais rápidos e em terras inférteis, impróprias à agricultura.

Atualmente, o problema da exaustão das florestas naturais desta espécie está sendo solucionado pelo plantio de extensas áreas com **Pinus elliottii e Pinus taeda,** nos estados sulinos e **Pinus caribaea** var. **hondurensis,** na região central do país. Estas espécies encontram excelentes condições para desenvolvimento e os incrementos volumétricos variam de 15 a 35 estéreos/ha/ano (1).

Os povoamentos de **Pinus** spp, artificialmente implantados nestas regiões, desenvolvem-se rapidamente até uma idade de 7 a 11 anos, quando as árvores começam a mostrar intensa competição por nutrientes minerais, água e luz. Nesse momento, um primeiro desbaste se faz necessário para garantir o desenvolvimento das árvores remanescentes. A idade deste desbaste depende sobretudo do espaçamento, condições edafoclimáticas, qualidade genética das sementes, práticas silviculturais e fatores inerentes à própria espécie, como ritmo de crescimento, desrama natural e vigor.

O volume total de madeira que provém deste primeiro desbaste é bastante grande e levantamentos estatísticos mostram que aumentará sobremaneira nos próximos anos (2). Assim, este tipo de madeira jovem constitui-se numa grande fonte potencial de fibras longas para a indústria brasileira de celulose e papel.

O presente trabalho teve como finalidade estudar as características das madeiras e propriedades das celuloses kraft obtidas a partir de materiais de desbaste provenientes de povoamentos de **Pinus** implantados no Brasil. Foram também estudadas duas espécies de **Pinus** norte-americanos, comparáveis com as estudadas no Brasil. Este estudo visava obter informações acerca destas matérias-primas e comparar os resultados com os obtidos para madeira adulta de **Araucaria angustifolia.** Comparações diretas entre as propriedades de todas as espécies estudadas tornou-se possível visto que foram usados métodos semelhantes na coleta de dados. Entretanto, uma vez que a metodologia e a instrumentação usadas na produção e ensaios das celuloses obtidas das madeiras brasileiras diferiram daquelas usadas para as madeiras norte-americanas, não foi possível o estabelecimento de comparações estatísticas globais, abrangendo todas as espécies. Em razão disso, os resultados dos ensaios das celuloses foram analisados estatisticamente com base em dois conjuntos de dados: um coletado no Brasil e outro nos EE. UU.

REVISAO DA LITERATURA

1. O GÊNERO PINUS

O gênero **Pinus** compreende mais de uma centena de espécies (3) e muitas destas representam importantes matérias-primas para as indústrias de conversão da madeira. **Pinus** também constitui-se no principal gênero de coníferas para produção de celulose em todo o mundo e seu uso para esse fim tem crescido rapidamente. Existem muitas razões que justificam a grande importância destas espécies lenhosas para fins industriais (4): a madeira possui uma combinação não usual de propriedades favoráveis, os recursos são facilmente renováveis e substanciais volumes de madeira são disponíveis no momento. Nos Estados Unidos da América, os **Pinus** da região sul representam as principais espécies de madeira para fins comerciais. Estima-se que no ano 2000, mais de 50% das coníferas usadas naquele país procederá da região sul (5).

A dispersão do gênero por todo o mundo é outro fator de realce a ser considerado. No hemisfério sul, existem poucas espécies que crescem naturalmente. Entretanto, a introdução de espécies do hemisfério norte tem sido de grande sucesso, especialmente na América Latina, África e Austrália. Assim, não existem barreiras geográficas para limitar o crescimento e importância econômica do gênero.

1.1. Características da madeira

Existe uma considerável quantidade de informações na literatura relativas a características da madeira de **Pinus.** Recentemente, algumas revisões importantes apareceram, como aquelas por Koch (6) e Foelkel (7). Outros sofisticados trabalhos têm aparecido, referindo-se a: ultra-estrutura da madeira "Cotè & Colaboradores (8)"; identificação e análise quantitativa dos componentes químicos "Hall & Gisvold (9, 10); Posey & Robinson (11); Stanley (12)"; e densidade da madeira "McMillin (13); Zobel (14); Zobel e colaboradores (15)".

1.1.1. Madeira juvenil em Pinus

Há muito que se reconhece que a madeira formada pelas espécies lenhosas nos períodos iniciais de sua vida difere da formada mais tarde. A essa madeira jovem denomina-se comumente madeira juvenil, enquanto à madeira mais velha, madeira adulta. Normalmente não existe uma transição abrupta entre o período de juvenilidade e o de maturidade dentro da árvore. A transição é gradual e toma alguns anos.

Alguns estudos (16, 17, 18, 19) relatam a formação de madeira juvenil para **Pinus** até a idade

de 7 a 11 anos: **Pinus elliottii** inicia a formação de madeira adulta entre 6 a 9 anos, enquanto **Pinus taeda** o faz entre 7 e 11 anos. Madeira juvenil é encontrada na região central do tronco e se estende cilindricamente em direção à extremidade superior da árvore. Assim, ponteiros e ramos das árvores são quase que totalmente constituidos de madeira juvenil. Por outro lado, ao contrário do que se pensa usualmente, madeira juvenil não é característica apenas de espécies de rápido desenvolvimento: sua presença tem sido notada mesmo em espécies de crescimento lento (14).

As propridades das madeiras juvenil e adulta da mesma árvore variam consideravelmente. Zobel (14) verificou que a madeira juvenil possui menor densidade, fibras mais curtas e um ângulo fibrilar quase horizontal e excessivo teor de madeira de compressão. Kirk & colaboradores (18) afirmaram ainda que a madeira juvenil possui altos teores de umidade e lignina e fibras com paredes celulares mais delgadas. Sua menor densidade básica e a baixa resistência de suas peças à tensão e compressão têm limitado seu uso para muitas aplicações estruturais. Madeira juvenil representa uma alta proporção nas toras comerciais de **Pinus** no sul dos EE. UU. As quantidades desta madeira sobre o total de madeira comercial de **Pinus taeda** na Carolina do Sul, EE. UU. foram relatadas por Zobel e colaboradores (15) como se segue:

Quadro 1 : Teor de madeira juvenil em **Pinus taeda** (15)

Idade da árvore	Teor de madeira juvenil % do peso seco	% do volume
15	76	85
25	50	55
40	15	19

Um detalhado estudo acerca das propriedades da madeira juvenil de **Pinus elliotti** desenvolvimento no Brasil foi realizado por Foelkel e colaboradores. (19).

1.1.2. **Madeira adulta**

As dimensões das fibras e a composição química de madeiras de pináceas são provavelmente os assuntos mais estudados na ciência da madeira. Entretanto, devido às variações entre espécies, dentro da espécie e dentro da própria árvore, muitos dos resultados são expressos como amplos intervalos de variação e torna-se difícil inferir válidas comparações. Outra fonte de variação é que cada investigador possui seu próprio procedimento para obter amostrar de uma população, além do que, amostras perfeitamente representativas são sempre difíceis de serem conseguidas. A madeira é ainda um material altamente influenciado por condições edafo-climáticas. Em vista de todas essas razões, não é perfeitamente viável a comparação de resultados obtidos por diferentes pesquisadores.

Kleppe (20) em extensa revisão, apresentou os intervalos mais frequentes de variação das propriedades da madeira de **Pinus** no sul dos EE. UU. Esses valores aparecem no quadro 1a.

Quadro 1-A: Propriedades das madeiras de **Pinus** do sul dos EE.UU. (20)

Propriedade	Intervalo	Intervalo mais frequente
Densidade (g/cm³)	0,38 - 0,75	0,42 - 0,55
Teor de lignina (%)	24 - 30	26 - 29
Teor de extrativos (%)	2 - 10	2,5 - 4,5
Comprimento de fibra (mm)	2,0 - 5,5	2,5 - 4,5

1.2. **Produção de celulose kraft**

1.2.1. **Madeira juvenil**

Recentemente, em virtude da crescente escassez de madeira, ênfase tem sido dada à produção de celulose a partir de madeira juvenil. Uma grande quantidade deste tipo de madeira é disponível no momento a partir dos desbastes iniciais em florestas de **Pinus** e esta será significativamente maior no futuro. Este recurso potencial constitui uma atrativa razão para o interesse das indústrias e institutos de pesquisa. Hoje, a tendência é o desenvolvimento, através do Melhoramento Florestal, de árvores de **Pinus** com qualidades especiais de madeira juvenil, de forma a suplementar o fornecimento de fibras curtas para a indústria de celulose (21).

Alguns estudos sobre a produção de celulose kraft de madeira juvenil foram relatados por Zobel (22), Barefoot & colaboradores (23), Einspahr & colaboradores (24) e Kirk & colaboradores (18). Estes últimos sumarizaram os resultados das características de celulose de madeira juvenil encontrados na literatura como se segue:

a) celulose de madeira juvenil contém mais lignina que as celuloses preparadas de madeira adulta, sob mesmas condições

b) celulose de madeira juvenil exibe maiores resistências à tração e ao arrebentamento e maior peso específico aparente das folhas, mas menor resistência ao rasgo

c) os rendimentos em celulose são baixos, tornando o uso destas madeiras juvenis mais dispendioso

d) as celuloses possuem baixos rendimentos em celulose mas altos rendimentos em hemiceluloses

e) as celuloses de madeira

juvenil de maior densidade básica possuem maior resistência ao rasgo mas menores resistências à tração, ao arrebentamento e peso específico aparente, quando comparadas com outras celuloses de madeira juvenil.

Estes autores também verificaram em suas pesquisas, maiores resistências à tração, ao arrebentamento e ao dobramento para a celulose de madeira juvenil, quando comparada às celuloses obtidas de madeiras normais. Isso foi atribuido à maior ligação entre fibras a um dado de moagem, que é obtida devido à maior flexibilidade das fibras de paredes delgadas da madeira juvenil. Baixa opacidade para estas celuloses também têm sido verificadas e atribuidas à intensa ligação inter-fibras nas folhas (18).

No Brasil, somente uns poucos trabalhos foram publicados neste particular. Redko & Guimarães (25) relataram a obtenção de celuloses kraft e sulfito neutro com altos rendimentos e qualidade a partir de **Pinus elliottii** com 8 anos de idade. Alta resistência à tração foi a característica mais importante destas celuloses. A baixa resistência ao rasgo foi atribuida à imaturidade das fibras. Os autores sugeriram o uso deste tipo de madeira para a fabricação de capas e miolos de papelão ondulado.

Resultados semelhantes foram obtidos por Zvinakevicius (26) quando estudou a produção de celulose kraft de árvores jovens de **Pinus elliottii e Pinus taeda.** Este autor considerou os resultados de laboratório para a resistêcia ao rasgo destas celuloses como desapontadores. Melhores resultados foram relatados num ensaio industrial com madeira recém-abatida, em comparação com celulose de **Araucaria angustifolia.** As celuloses de **Pinus** mostravam-se ligeiramente inferiores às de **Araucaria.**

1.2.2. Madeira adulta

Em virtude dos problemas encontrados na deslignificação de madeira de pináceas a baixos valores de pH, estas são normalmente processadas por métodos alcalinos. Celulose kraft de **Pinus** representa a maior porcentagem das celuloses químicas mundialmente produzidas. A literatura é rica em citações acerca desse assunto, entretanto somente uns poucos artigos que estão diretamente relacionados com os objetivos deste trabalho serão discutidos.

Nos Estados Unidos da América, desde 1940, a região sul do país tornou-se a maior produtora mundial de celulose kraft (27). Aproximadamente dez espécies de **Pinus** são comercialmente processados nesta região. Destas, **Pinus taeda** coloca-se em primeiro lugar, seguido de **P. palustris, P. echinatta** e **P. elliottii.** As qualidades das celuloses ali produzidas parecem ser apenas ligeiramente influenciadas pela espécie (28). Entretanto, como as diferentes espécies crescem em zonas climáticas distintas, a influência da espécie torna-se maior (28). O teor de lignina das celuloses é uma das maiores fontes de variação nas propriedades destas celuloses (20, 28).

Os **Pinus** do sul dos EE. UU. são bem conhecidos por produzirem celuloses com resistência ao rasgo muito alta, porém baixas resistências à tração e ao arrebentamento (29). Estas tendências em resistências são similares àquelas observadas em celuloses sulfito de **Araucaria angustifolia** por Rys & colaboradores (30).

Em países tropicais e subtropicais, atenção especial tem sido dada à utilização de espécies de **Pinus** de rápido crescimento. A produção de celulose de fibras longas em muitas destas áreas tem sido objeto de estudo por algumas instituições de pesquisa especializadas, como o Tropical Products Institute, na Inglaterra. Dois membros desta organização, Palmer & Gibbs, têm estudado de forma intensiva a produção de celulose kraft a partir de **Pinus caribaea,** proveniente de regiões tropicais (31, 32, 33, 34, 35, 36). Dentre suas mais importantes conclusões, os autores afirmaram que **Pinus caribaea** produz celuloses ligeiramente mais fracas que as celuloses comerciais de fibras longas, canadenses e norte-americanas. Entretanto, sugerem que elas podem ser perfeitamente usadas na produção de papéis de embalagens.

Palmer & Tabb, em 1968, relataram os resultados e conclusões de um longo estudo das características das celuloses de coníferas tropicais (37). A investigação mostrou que **Pinus caribaea,** em alguns casos, produzia celuloses não recomendadas para fabricação de papel de qualidade, se usadas isoladamente. Entretanto, em virtude de sua alta resistência ao rasgo, podiam ser valiosos componentes em misturas. Estes **Pinus** tropicais produziam ainda celuloses com piores propriedades de ligação que as espécies de região temperada e portanto, suas resistências à tração e ao arrebentamento eram inferiores. Em razão de sua usualmente inferior qualidade, os autores concluiram que era temerário se supor que estas celuloses fossem prontamente aceitas pelo exigente mercado mundial de fibras longas.

Conclusões mais otimistas foram enunciadas por Fairest (38) na investigação de **Pinus caribaea** da Venezuela. A celulose obtida da madeira adulta desta espécie foi considerada como definitivamente melhor em qualidade que muitas das informações contidas na literatura para a espécie. Entretanto, o cozimento de madeira de árvores de 5 anos de idade conduziu à obtenção de celuloses bastante fracas. Fairest concluiu seu trabalho sugerindo o plantio desta espécie na Venezuela como nova fonte de fibras longas para a indústria de celulose kraft do país.

2. O GÊNERO ARAUCARIA

O gênero **Araucaria** consiste de menos de 10 espécies que se desenvolvem na América do Sul e Austrália. Dentre estas, **Araucaria angustifolia** é a mais importante. É a única conífera nativa de valor comercial no Brasil e é ainda uma das maiores fontes de fibras longas para a indústria de celuloses nacional.

2.1. **Características da madeira**

Até o momento, as informações sobre madeiras de espécies de **Araucaria** são limitadas. Uns poucos trabalhos (30, 39, 40) têm aparecido, nos quais geralmente são investigadas as características morfológicas e químicas da madeira e as propriedades das celuloses. A ausência de informações precisas com relação à idade exata das árvores é outro problema, visto que as espécies se desenvolvem em maciços naturais. Também por esta razão, a madeira mostra-se desuniforme.

Como principais características, sabe-se que **Araucaria** possui fibras muito longas, consideradas as maiores dentre as coníferas, e alto teor de celulose. O comprimento da fibra alcança 7 a 9 mm, com média ao redor de 5. A densidade básica da madeira de 0,400 a 0,585 (41).

2.2. **Propriedades das celuloses**

Embora a madeira possua inúmeras qualidades favoráveis, a celulose de **Araucaria** não apresenta a alta resistência que se deveria esperar (30). Alta resistência ao rasgo é a principal característica de sua celulose, mas concomitantemente, as resistências à tração e ao arrebentamento são baixas para coníferas.

MATERIAIS E MÉTODOS

MADEIRA

1. PROCEDÊNCIA DAS MADEIRAS

Quatro diferentes espécies de **Pinus** foram testadas neste experimento. As madeiras de árvores que se desenvolviam no Brasil foram representadas pelas espécies **Araucaria angustifolia** (Bert.) O. Kuntze, **Pinus elliottii** Engelmann var. **elliottii, Pinus taeda** L. e **Pinus caribaea** Morelet var. **hondurensis,** enquanto as que se desenvolviam nos EE. UU. foram as seguintes: **Pinus elliottii** Engelmann var. **elliottii** "slash pine", e **Pinus taeda** L., "loblolly pine".

Para simplificar a apresentação dos resultados, os nomes científicos foram mantidos para as espécies que se desenvolviam no Brasil e os nomes comuns para as norte-americanas. Assim, quando por exemplo o nome "slash pine" era usado, o autor se referia à espécie **Pinus elliottii** var. **elliottii** amostrada nos EE. UU., etc.

As madeiras de **Pinus elliotti, Pinus taeda** e **Araucaria angustifolia** foram fornecidas pela Olinkraft Celulose e Papel Ltda., localizada em Lages, Santa Catarina, Brasil. A madeira de **Pinus caribaea** foi conseguida graças a colaboração da Champion Papel e Celulose S.A., localizada em Mogi Guaçu, São Paulo, Brasil. As madeiras de "slash" e "loblolly pines" foram obtidas por cortesia da Union Camp Corporation, localizada em Savannah, Georgia, EE. UU. As idades e tipos de povoamentos de onde foram coletadas as diferentes madeiras constam do quadro 2.

Quadro 2 : Características dos povoamentos de onde foram as madeiras amostradas

Espécies	Tipo de povoamento	Idade do povoamento
A. angustifolia	natural	indeterminada
P. elliottii	artificial	8 anos
P. taeda	artificial	11 anos
P. caribaea	artificial	8 anos
"Slash pine"	artificial	18 anos
"Loblolly pine"	artificial	16 anos

2. SELEÇÃO DAS ÁRVORES E PREPARO DA MADEIRA

2.1. **Amostragem das madeiras de Pinus brasileiros**

Uma vez que as variações naturais entre árvores de diferentes povoamentos e entre árvores do mesmo povoamento eram de grande magnitude, a amostragem das madeiras foi executada de acordo com o seguinte procedimento:

— O povoamento selecionado mostrava desenvolvimento médio para a espécie na região
— no momento do desbaste, cinco árvores foram amostrados ao acaso, constituindo-se numa repetição para a espécie. Como o delineamento estatístico se baseava em cinco repetições por espécie, 25 árvores foram amostradas por espécie
— as árvores selecionadas mostravam boa forma e vigor florestal.

Estas árvores foram cortadas em toras de aproximadamente 2 metros de comprimento a partir da base e até um diâmetro mínimo de 8 cm. Ponteiros e ramos foram descartados. As toras foram então descascadas e mais tarde reduzidas a cavacos em picador industrial.

Os cavacos obtidos para cada grupo de cinco árvores foram homogeneizados e uma amostra, considerada suficiente para o propósito do estudo, foi tomada. A seguir, os cavacos foram secados ao ar até aproximadamente 10% de umidade e classificados para remoção de serragem e nós. Os cavacos classificados correspondentes a cada repetição foram mantidos em sacos plásticos para prevenção contra alterações no teor de umidade, e, armazenados em câmara fria. O teor de umidade dos cavacos foi determinado em duplicata em amostras de aproximadamente 200 gramas, utilizando-se estufa aquecida a 105°C ± 3°C.

2.2. **Amostragem da madeira de Araucaria angustifolia**

Os cavacos de **Araucaria angustifolia** foram coletados diretamente do material que era normalmente utilizado pela Olinkraft Celulose e Papel Ltda. na fabricação de celulose kraft para papéis de sacos multifolhados. Cinco amostras foram coletadas nos silos de cavacos daquela fábrica. Os procedimentos para secagem, classificação e armazenamento dos materiais foram semelhantes àqueles citados no item 2.1. deste capítulo.

2.3. Amostragem das madeiras de "slash" e "loblolly pines"

Estas madeiras, fornecidas pela Union Camp Corporation, eram representadas por 5 toras de aproximadamente 2 metros de comprimento, para cada espécie. Cada tora foi obtida de uma árvore a uma altura ao acaso. A madeira foi reduzida a cavacos num picador semi-industrial Carthage, de 10 facas. Após classificação, os cavacos selecionados foram secos ao ar e armazenados em sacos plásticos em câmara escura. Cinco amostras de cavacos foram retiradas do lote total para cada espécie. Os teores de umidade foram determinados da mesma forma que citado no item 2.1.

3. PROPRIEDADES DAS MADEIRAS

Análises anatômicas, químicas e físicas foram realizadas a fim de se comparar as características de todas as madeiras estudadas.

De cada uma das 30 parcelas (seis espécies, 5 repetições /espécie), representadas pelos cavacos armazenados em cada um dos 30 sacos plásticos, uma sub-amostra representativa foi tomada. Em cada uma destas, todos os testes que se seguem citados foram realizados.

Utilizou-se de análise estatísticas para comparação dos resultados, através dos seguintes testes:

— teste de Cochran: teste para igualdade de variâncias

— teste F: teste para significâncias de diferenças entre efeitos de tratamentos

— teste de Tukey: teste para comparações entre pares de médias

Foi determinado também o coeficiente de variação expresso em porcentagem.

O delineamento experimental adotado foi de inteira casualização.

3.1. Morfologia da fibra

A relação entre as propriedades anatômicas das fibras de madeira e as resistências das celuloses correspondentes tem sido motivo de considerável pesquisa nos últimos anos. Em razão disso, as seguintes características das fibras foram medidas neste trabalho:

— comprimento da fibra

— largura da fibra

— diâmetro do lúmen

— espessura da parede celular

Mais recentemente, maior ênfase tem sido dada a parâmetros sofisticados, expressos como relações entre estas dimensões fundamentais. Admitiu-se que o cálculo de algumas destas relações poderiam auxiliar na explicação dos resultados para resistências das celuloses, e também, tornariam possível uma melhor identificação destas madeiras. As seguintes relações entre dimensões das fibras, consideradas importantes para os objetivos de fabricação de papel (23, 42, 43, 44, 45, 46, 47) foram determinadas:

— índice de enfeltramento: relação entre o comprimento e a largura da fibra

— coeficiente de flexibilidade: relação entre diâmetro do lúmen e largura da fibra, espressa em porcentagem

— fração parede: relação entre duas vezes a espessura da parede e a largura da fibra, em porcentagem

— relação comprimento da fibra-espessura da parede celular

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

— relação de Mulsteph: relação entre a área transversal da parede celular e a área transversal da fibra

— número de Boiler (48): relação entre a área transversal de parede celular e a soma das áreas transversais da fibra e do lúmen

Uma amostra representativa dos cavacos foi tomada ao acaso de cada parcela. Os cavacos foram reduzidos a pequenos fragmentos e macerados em solução constituída de 1 parte de peróxido de hidrogênio, 5 partes de ácido acético glacial e 4 partes de água destilada. Os tubos de ensaio contendo os fragmentos de madeira e solução macerante foram hermeticamente fechados e levados para estufa a 54°C ± 2°C até que a maceração se completasse. Dez lâminas por amostra foram preparadas, usando-se safranina-gel como corante e fixador. As dimensões de dez fibras inteiras foram determinadas por micro-projeção em cada lâmina. Um total de 100 fibras foram medidas por cada amostra.

3.2. Densidade básica da madeira

A densidade básica da madeira foi determinada nos cavacos pelo método do máximo teor de umidade proposto por Smith (49) e adaptado por Foelkel & colaboradores (50). A densidade básica da madeira livre de extrativos foi calculada reduzindo-se do peso seco dos cavacos o peso dos extrativos em álcool benzeno neles contidos.

3.3. Análises químicas das madeiras

As análises químicas foram realizadas em sub-amostras de aproximadamente 200 gramas de cavacos. Após a redução da madeira a serragem num moinho Wiley, procedeu-se o fracionamento da mesma conforme o requerido pelos métodos de análise. As serragens obtidas eram secadas ao ar até equilíbrio e armazenadas em sacos plásticos. O teor de umidade destas era a seguir cuidadosamente determinado. As análises químicas foram realizadas em duplicata e as médias dos resultados foram expressas como porcentagem do peso de madeira absolutamente seca.

As seguintes análises químicas foram realizadas nas madeiras:

Quadro 3: Análises químicas realizadas nas madeiras

Teste	Método
Solubilidade em	
— água fria	TAPPI T_{1m-59}
— água quente	TAPPI T_{1m-59}
— NaOH 1%	TAPPI T_{4m-59}
— álcool-benzeno	TAPPI T_{6m-59}
— éter etílico	TAPPI T_{5m-59}
Teor de	
— lignina	ABCP M10/71
— celulose Cross & Bevan	ABCP M9/71
— pentosanas	TAPPI T_{19m-50}
— cinzas	ASTM D1102-56

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

PRODUÇAO DE CELULOSE

1. PROCESSO E CONDIÇÕES DE COZIMENTO

Todas as madeiras foram deslignificadas pelo processo kraft a dois diferentes intervalos de números de permanganato: um entre 16 e 18, para representar celuloses preparadas na categoria branqueável e outro, entre 25 e 30, para representar celulose economicamente não branqueáveis. Isso significa que duas amostras de cada madeira foram deslignificadas para um total de 60 cozimentos.

As seguintes condições tiveram que ser adotadas para obtenção dos números de permanganato pré-estabelecidos:

Quadro 4: Condições de cozimento

Variáveis do cozimento	Madeiras brasileiras		Madeiras norte-americanas	
	celulose não-branqueável	celulose branqueável	celulose não-branqueável	celulose branqueável
— Álcali ativo (%)	19	20	19	20
— Sulfidez (%)	25	25	25	25
— Atividade (%)	88	88	88	88
— Temperatura máxima (°C)	165	170	170	175
— Tempo até temperatura máxima (h.)	1,5	2,0	1,5	2,0
— Ciclo total do cozimento (h.)	3,0	3,5	3,0	3,5
— Relação licor/madeira	4:1	4:1	4:1	4:1

Os reagentes químicos foram expressos e calculados em termos de Na_2O.

Carbonato de sódio foi adicionado ao licor para simular condições industriais.

2. PREPARAÇAO DO LICOR

As soluções de NaOH, Na_2S e Na_2CO_3 foram preparadas a concentrações de aproximadamente 100 gramas de Na_2O por litro e mantidas em recipientes plásticos para uso quando necessárias. As soluções eram periodicamente re-padronizadas para evitar erros devidos à degradação do licor. O licor de cozimento era preparado pouco antes do cozimento, misturando-se as quantidades necessárias das soluções estoques e completando-se o volume com água. A água presente na madeira foi levada em consideração nos cálculos.

3. COZIMENTO

3.1. Cozimento das madeiras brasileiras

Todos os 40 cozimentos realizados no Brasil foram feitos em um digestor rotatório de aço inoxidável, com 20 litros de capacidade e aquecido eletricamente. O equivalente a 500 gramas de madeira absolutamente seca era deslignificada em cada cozimento.

3.2. Cozimento das madeiras norte-americanas

Um digestor de 1,5 pés cúbicos de capacidade, com aquecimento indireto e circulação forçada, foi utilizado para os 20 cozimentos das madeiras norte-americanas. O equivalente a 3000 gramas de madeira absolutamente seca foi processado em cada cozimento.

4. PROCESSAMENTO DA CELULOSE

4.1. Lavagem

No final do cozimento o digestor era aberto e os cavacos recebidos em uma caixa com uma tela metálica de 100 "mesh" na base. Os cavacos eram lavados com água quente até que o efluente mostrasse uma cor clara.

4.2. Individualização das fibras

Após lavagem, os cavacos amolecidos dos cozimentos realizados no Brasil (cozimentos números 1 a 40) eram desfibrados num desintegrador operando a 3000 rpm durante 10 minutos. Os cavacos dos cozimentos realizados nos EE. UU.

(cozimentos números 41 a 60) eram desfibrados em um "hydrapulper" de laboratório por 10 minutos.

4.3. Depuração

Os materiais desfibrados referentes aos cozimentos 1 a 40 eram depurados num classificador de fibras BH 6/12 Bretch and Holl, com peneira de fendas de 0,5 mm de largura. Aqueles dos cozimentos 41 a 60 eram depurados num classificador de fibras vibratório com fendas de 0,01 polegada de largura.

Os rejeitos eram separados e secos em estufa a 105°C ± 3°C até peso constante.

4.4. Prensagem ou centrifugação

As celuloses depuradas dos cozimentos 1 a 40 (correspondendo às celuloses números 1 a 40) eram prensadas por meio de uma prensa manual até aproximadamente 20% de consistência.

As celuloses dos cozimentos 41 a 60 (celuloses números 41 a 60) eram centrifugadas em uma centrífuga Sharples por 15 minutos.

4.5. Armazenamento

As placas de celuloses depuradas eram transformadas em pequenos grumos e armazenadas em sacos plásticos em câmara fria a aproximadamente 5°C.

4.6. Determinações de rendimentos em celulose e números de permanganato

A consistência foi medida tomando-se uma amostra representativa de celulose úmida e secando-se em estufa até peso constante. Calculados consistências e pesos secos dos rejeitos, era possível se determinar os rendimentos brutos, depurados e teores de rejeitos. Os rendimentos foram expressos de duas formas diferentes: porcentagem sobre madeira a.s. e porcentagem sobre madeira a.s. livre de extrativos. O teor de extrativos residual da celulose foi considerado negligível. Também para os cálculos dos rendimentos na segunda base, os pesos das madeiras livres de extrativos foram usados.

O número de permanganato das celuloses foi determinado conforme método TAPPI T_{214}m-50.

ENSAIOS NAS CELULOSES

Procedeu-se à avaliação físico-química de todas as 60 celuloses produzidas.

1. MOAGEM

A moagem das celuloses números 1 a 40 foi realizada em um moinho Jokro-Muhle de laboratório, conforme método Merkblatt V/105 da Verein der Zellstoff und Papier, Chemiker und Ingenieure (V.Z.P.C.I.). As celuloses números 41 a 60 foram refinadas em uma holandeza de laboratório, tipo Valley, conforme método TAPPI T_{200} ts-66. Durante esta operação, foram coletadas amostras a 7 diferentes tempos, inclusive o tempo zero minutos. Estas amostras foram usadas para determinações do grau de moagem, expresso em termos de "freeness" canadense e para a formação de folhas para ensaios físico-mecânicos.

2. FORMAÇAO DE FOLHAS

Sete folhas foram formadas para cada amostra tomada durante a refinação. Para as celuloses números 1 a 40 foi usado um formador de folhas com 2 secadores tipo FS 5/2 Rapid Koethen. O método usado estava de acordo com a norma Merkblatt V/108. A formação das folhas das celuloses 41 a 60 foi realizada conforme método TAPPI T_{205}m-58. A gramatura de todas as folhas era de aproximadamente 60 g/ m².

3. ENSAIOS FÍSICO-MECANICOS DAS CELULOSES

As propriedades físico-mecânicas de todas as celuloses foram calculadas conforme método TAPPI T_{220}m-60. As seguintes determinações foram realizadas:

- gramatura: expressa em gramas por metro quadrado
- resistência: à tração expressa pelo comprimento de auto-ruptura, em metros
- resistência ao arrebentamento: expressa pelo índice de arrebentamento
- resistência ao rasgo: expressa pelo índice de rasgo
- esticamento: expresso em porcentagem
- espessura: expressa em microns
- peso específico aparente: expresso em gramas por centímetro cúbico
- volume específico aparente: expresso em centímetros cúbicos por grama

RESULTADOS

1. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Utilizou-se de análise estatística para testar as propriedades em estudo.

A aplicação de análise estatística para dados experimentais expressos em porcentagem tem sido objeto de estudos há longo tempo. Uma das hipóteses básicas no uso de análises da variância é que os erros de certas variáveis que compõem o experimento são independentes e distribuídos normalmente com a mesma variância. Independência entre observações é fundamental para se assegurar inferências corretas (51).

Existem certos tipos de dados que variam de forma tal que as hipóteses de normalidade e independência não são preenchidas. Estes dados requerem transformações especiais para a aplicação de análise da variância. Algumas vezes, a análise da variância de certos tipos de dados expressos em porcentagens seria mais correta quando uma transformação angular, logarítmica ou exponencial fosse aplicada. Entretanto, a generalização de que todos os dados expressos em porcentagens devam ser transformados também não é válida. Clark & Leonard (52) apresentaram a seguinte classificação para os tipos de porcentagem:

"First, continuous data resulting from an experimental study may be expressed as percentages when each variate is divided by an arbitrary constant value, whereby each variate becomes a percentage of some standard or average. Clearly such a procedure merely transforms the unit of measurement. Percentages of this type should be treated statistically exactly as if the data were in their raw form. For example, yield data might be expressed in percentage of the check instead of actual yield in pounds. Second, continuous data are often expressed in percentages to show concentrations because a comparison of concentration is the principal objective of the study. This type of percentage is very common. Some examples are: seed purity given by weight of pure seed/total weight of seed; protein content given by the weight of protein/total weight; sugar content given by the weight of sugar/weigh of root. Such concentrations should not, as a rule, be subject to any transformation to equalize the variance."

Neste trabalho, os dados expressos em porcentagens caem em um dos dois tipos citados anteriormente. Assim não se aplicou nenhuma transformação a eles, os quais foram analisados em sua forma natural. Apesar disso, a hipótese de igual variância para cada um dos tratamentos foi testada pelo teste de Cochran. A não significância da relação de Cochran significava que não foram detectadas diferenças significativas entre as variâncias das populações, e consequentemente, estas podiam ser tratadas como sendo iguais.

O nível de 5% de probabilidades foi considerado satistatório para os propósitos da investigação.

2. CARACTERÍSTICAS DAS MADEIRAS

Neste estudo, várias características das madeiras jovens de três espécies de **Pinus** foram determinadas. Foram estabelecidas comparações entre as propriedades destas madeiras e aquelas de outras madeiras adultas. Os dados experimentais foram estatisticamente analisados conforme os testes de Cochran, F e de Tukey. A significância do teste F indicava que, com respeito à propriedade em questão, pelo menos um dos tratamentos mostrava-se significativamente diferente da média de toda a população, para a propriedade, ao nível de 5% de probabilidades.

Comparações entre pares de médias de tratamentos foram realizadas pelo uso do teste de Tukey. Quando a diferença entre as médias de dois tratamentos excedia uma diferença mínima significativa (DMS), estes eram considerados diferentes ao nível de significância preestabelecido.

Os resultados para as características das madeiras constam dos quadros 5, 6, 7, 8 e 9. Nestes foram apresentados os valores médios das propriedades, respectivos intervalos de confiança e testes estatísticos.

Quadro 5: Dimensões das fibras

Dimensão da fibra / Espécies	Comprimento da fibra (mm)	Largura da fibra (μ)	Diâmetro do lúmen (μ)	Espessura da parede celular (μ)
A. angustifolia	5,15 ± 0,45	47,11 ± 4,64	34,22 ± 2,90	6,44 ± 1,35
P. elliottii	3,14 ± 0,35	45,31 ± 2,68	34,88 ± 2,97	5,41 ± 0,53
P. taeda	2,78 ± 0,15	43,81 ± 1,75	34,28 ± 0,96	4,96 ± 0,60
P. caribaea	3,61 ± 0,20	53,80 ± 2,98	43,60 ± 3,29	5,10 ± 0,42
"Slash pine"	3,46 ± 0,17	48,70 ± 2,93	34,96 ± 3,98	6,87 ± 0,78
"Loblolly pine"	2,87 ± 0,07	46,16 ± 3,13	35,87 ± 3,32	5,14 ± 1,32
Relação de Cochran	0,4800	0,3647	0,2840	0,3667
F	82,4*	9,9*	10,8*	6,6*
DMS	0,42	4,91	4,81	1,43
Coeficiente de variação (%)	6,1	5,3	6,8	13,0

* Significativo ao nível de 5% de probabilidades

Quadro 6: Densidade básica das madeiras (g/cm³)

Densidades / Espécies	Densidade básica sem extração	Densidade básica com extração
A. angustifolia	0,420 ± 0,019	0,411 ± 0,020
P. elliottii	0,316 ± 0,009	0,307 ± 0,008
P. taeda	0,347 ± 0,007	0,340 ± 0,006
P. caribaea	0,353 ± 0,015	0,347 ± 0,014
"Slash pine"	0,482 ± 0,009	0,463 ± 0,010
"Loblolly pine"	0,419 ± 0,004	0,399 ± 0,005
Relação de Cochran	0,4528	0,4735
F	213,3*	184,7*
DMS	0,019	0,018
Coeficiente de variação (%)	2,5	2,5

3. PROPRIEDADES DAS CELULOSES

Conforme citado anteriormente, este trabalho se propõe a investigar três espécies de **Pinus** que se desenvolviam no Brasil, duas espécies norte-americanas e **Araucaria angustifolia**, cada uma deslignificada a dois intervalos de número de permanganato. Uma vez que a metodologia e a instrumentação usadas na produção e ensaios das celuloses diferiram no Brasil e EE. UU., cada um dos dois conjuntos de dados coletados foram analisados separadamente.

Os resultados para números de permanganato, rendimentos e teores de rejeitos para todas as celuloses estão relatados nos quadros 10, 11, 12 e 13.

Quadro 7 : Relações entre as dimensões fundamentais das fibras

Relações / Espécie	Índice de enfeltramento	Coeficiente de flexibilidade	Fração parede	Relação comprimento/espessura	Índice de Runkel	Relação de Mulsteph	Número de Boiler
A.angustifolia	109±7	73±4	27±4	810±98	0,376±0,074	0,470±0,057	0,308±0,048
P.elliottii	69±8	77±4	24±3	580±41	0,310±0,051	0,413±0,048	0,257±0,041
P.taeda	63±3	78±2	22±2	588±69	0,289±0,033	0,397±0,032	0,240±0,024
P.caribaea	67±3	81±2	19±2	710±69	0,234±0,033	0,344±0,034	0,208±0,026
"Slash pine"	71±6	72±4	28±4	507±55	0,397±0,080	0,485±0,063	0,322±0,052
"Loblolly pine"	62±4	78±6	22±6	576±135	0,290±0,093	0,384±0,076	0,239±0,060
Relação de Cochran	0,3730	0,3550	0,3833	0,4415	0,3429	0,3339	0,3122
F	75,7*	6,6*	7,3*	13,2*	7,0*	7,9*	7,7*
DMS	9	6	6	133	0,102	0,085	0,069
Coeficiente de variação (%)	6,2	4,0	12,4	10,8	16,6	10,5	13,5

Quadro 8 : Extrativos das madeiras (%)

Solubilidade / Espécies	Solubilidade em				
	agua fria	água quente	NaOH 1%	álcool benzeno	éter etílico
A.angustifolia	1,4±0,7	2,0±1,1	7,3±0,8	2,2±0,8	1,7±1,0
P.elliottii	1,5±0,7	2,3±1,0	7,1±1,4	2,9±0,6	2,1±1,0
P.taeda	1,8±0,5	2,7±0,9	8,0±0,9	2,1±0,6	1,1±0,6
P.caribaea	1,3±0,6	2,9±0,3	11,0±2,8	1,7±0,7	1,4±0,8
"Slash pine"	1,3±0,4	1,8±0,9	9,9±2,0	4,6±1,7	2,1±0,4
"Loblolly pine"	1,5±0,6	2,1±1,0	10,8±1,4	4,8±1,2	2,4±0,6
Relação de Cochran	0,2279	0,2384	0,4703	0,4748	0,2733
F	0,7	1,6	8,4*	13,3*	1,8
DMS	0,9	1,4	2,7	1,6	1,6
Coeficiente de variação (%)	34,4	32,1	15,2	26,2	44,8

A análise estatística envolveu dois delineamentos fatoriais distintos: um com 4 espécies e 2 intervalos de número de permanganato (compreendendo as espécies de madeiras do Brasil) e outro com 2 espécies e dois intervalos de número de permanganato (madeiras norte-americanas). Todos os tratamentos possuem 5 repetições:

3.1. Ajuste das propriedades das celuloses a um peso específico aparente constante

As propriedades das celuloses foram comparadas a um mesmo peso específico aparente das folhas. Os dados obtidos para os sete tempos de moagem das celuloses foram relacionados contra os pesos específicos aparentes correspondentes. A relação entre as propriedades físico-mecânicas das celuloses e o peso específico aparente das folhas mostrou-se linear. Por isso, decidiu-se aplicar análise de regressão e correlação e estabelecer-se equações lineares para relacionar as propriedades das celuloses com os respectivos pesos específicos aparentes. As análises de regressão foram feitas com o auxílio de um computador CDC - 3200, com 32 K palavras de memória, usando-se o programa BMDO-2R.

As equações de regressão obedeceram a forma:

$Y = a + b X$

Quadro 9 : Teores de pentosanas, celulose, lignina e cinzas(%)

Teores / Espécies	Teor de pentosanas	Teor de lignina	Teor de celulose	Teor de cinzas
A. angustifolia	7,2±0,7	29,3±1,2	53,4±1,4	0,3±0,1
P. elliottii	9,2±1,1	29,8±1,1	49,1±1,8	0,3±0,2
P. taeda	10,4±0,4	28,8±1,0	48,8±2,7	0,4±0,1
P. caribaea	8,9±0,6	30,8±0,8	46,3±1,9	0,3±0,1
"Slash pine"	11,3±0,5	27,2±0,6	48,5±0,6	0,4±0,2
"Loblolly pine"	12,5±0,5	27,9±0,7	45,5±2,6	0,4±0,1
Relação de Cochran	0,4560	0,2618	0,3184	0,2857
F	61,3*	15,0*	15,0*	1,1
DMS	1,0	1,5	3,1	0,3
Coeficiente de variação (%)	5,4	2,6	3,3	34,2

Quadro 10: Celuloses do tipo branqueável: números de permanganato, rendimentos e teores de rejeitos (base madeira a. s.)

Propriedades / Espécies	Número de permanganato	Rendimento bruto (%)	Rendimento depurado (%)	Teor de rejeitos (%)
A. angustifolia	16,8 ± 0,6	51,1 ± 3,0	50,8 ± 3,0	0,3 ± 0,1
P. elliottii	16,9 ± 1,0	44,6 ± 3,3	44,3 ± 3,1	0,3 ± 0,2
P. taeda	17,3 ± 1,0	47,6 ± 3,2	47,2 ± 3,1	0,4 ± 0,2
P. caribaea	17,5 ± 1,0	44,5 ± 2,8	42,9 ± 2,6	1,6 ± 0,8
"Slash pine"	17,3 ± 0,6	44,0 ± 0,5	43,8 ± 0,6	0,2 ± 0,1
"Loblolly pine"	17,1 ± 0,9	42,0 ± 1,0	41,6 ± 1,0	0,4 ± 0,2

Quadro 11: Celuloses do tipo não-branqueável: número de permanganato, rendimentos e teores de rejeitos (base madeira a. s.)

Propriedades / Espécies	Número de permanganato	Rendimento bruto (%)	Rendimento depurado (%)	Teor de rejeitos (%)
A. angustifolia	28,0 ± 1,4	52,6 ± 2,5	52,1 ± 2,5	0,5 ± 0,1
P. elliottii	27,6 ± 1,7	49,9 ± 1,7	49,2 ± 1,7	0,7 ± 0,2
P. taeda	26,8 ± 2,0	49,4 ± 2,0	48,8 ± 2,1	0,6 ± 0,1
P. caribaea	28,2 ± 2,2	50,6 ± 3,2	48,6 ± 4,1	2,0 ± 1,4
"Slash pine"	28,5 ± 1,5	47,2 ± 0,7	46,8 ± 0,7	0,5 ± 0,1
"Loblolly pine"	28,2 ± 1,4	44,6 ± 1,0	43,3 ± 0,9	1,3 ± 0,5

onde

Y = propriedade da celulose (p.e.: comprimento de auto-ruptura, índice de rasgo, etc.)
a e b = coeficientes da equação
X = peso específico aparente das folhas

A significância de equação linear obtida foi testada pelo teste F ao nível de 5% de probabilidades. Quando o F excedia o limite a 5%, a equação mostrava-se satisfatória e explicava a relação entre as propriedades da celulose e o peso específico aparente. Como uma equação não significativa não poderia ser eficaz em predizer a propriedade em questão contra o peso específico aparente, empregava-se neste caso uma determinação gráfica.

Na maioria dos casos, as equações representavam mais de 95% da variabilidade dos dados.

Um peso específico aparente de 0,600 g/cm³ foi selecionado como base para comparações das celuloses. A partir das equações de regressão, estimaram-se os valores para comprimento de auto-ruptura, esticamento e índices de arrebentamento e rasgo.

Embora o tempo de moagem tenha mostrado uma relação aproximadamente linear com o peso específico aparente, os valores estimados para 0,600 g/cm³ eram sempre maiores que os experimentais. Em razão disso, o tempo de moagem necessário para se atingir um peso específico aparente de 0,600 g/cm³ foi graficamente estimado para todos os tratamentos.

Os valores estimados para as propriedades em estudo foram analisados estatisticamente e aparecem nos quadros 14 e 15.

3.2. Análises estatísticas das propriedades das celuloses

As análises estatísticas foram realizadas separadamente nos dados coletados no Brasil e nos EE. UU. As influências das espécies e dos números de

Quadro 12: Celuloses do tipo branqueável: rendimentos e teores de rejeitos (base madeira a. s. livre de extrativos)

Propriedades Espécies	Rendimento bruto (%)	Rendimento depurado (%)	Teor de rejeitos (%)
A. angustifolia	52,2 ± 2,7	51,9 ± 2,8	0,3 ± 0,1
P. elliottii	45,9 ± 3,3	45,6 ± 3,1	0,3 ± 0,2
P. taeda	48,6 ± 3,3	48,2 ± 3,2	0,4 ± 0,2
P. caribaea	45,3 ± 3,0	43,7 ± 2,6	1,6 ± 0,9
"Slash pine"	46,1 ± 1,1	45,9 ± 1,4	0,2 ± 0,2
"Loblolly pine"	44,1 ± 1,1	43,7 ± 1,0	0,4 ± 0,2

Quadro 13: Celuloses do tipo não-branqueável: rendimentos e teores de rejeitos (base madeira a. s. livre de extrativos)

Propriedades Espécies	Rendimento bruto (%)	Rendimento depurado (%)	Teor de rejeitos (%)
A. angustifolia	53,8 ± 2,2	53,3 ± 2,1	0,5 ± 0,1
P. elliottii	51,4 ± 2,1	50,7 ± 2,0	0,7 + 0,2
P. taeda	50,4 ± 2,1	49,8 ± 2,2	0,6 + 0,1
P. caribaea	51,5 ± 3,1	49,5 ± 4,1	2,0 ± 1,4
"Slash pine"	49,5 ± 0,5	49,0 ± 0,6	0,5 ± 0,1
"Loblolly pine"	46,9 ± 0,6	45,5 ± 1,0	1,3 ± 0,5

comprimentos de auto-ruptura, índice de rasgo e arrebentamento foram as propriedades das celuloses que sofreram análises estatísticas. Análises estatísticas não foram realizadas para teores de rejeitos devido a excessiva variação dos dados. Entretanto, as médias para espécies e números de permanganato são mostradas no quadro 17.

A influência de cada variável do experimento fatorial pode ser observada pela análise dos quadros 16 e 18.

3.2.2. Celuloses obtidas das madeiras norte-americanas

O experimento seguiu um delineamento fatorial 2 x 2 para espécies e números de permanganato. O mesmo procedimento citado em 3.2.1. foi seguido para estas análises.

Quadro 14: Celuloses do tipo branqueável: propriedades estimadas a 0,600 g/cm³ de peso específico aparente das folhas

Propriedades Espécie	Tempo de moagem	Comprimento de auto-ruptura	Esticamento	Índice de arrebentamento	Índice de rasgo
A. angustifolia	22 ± 3	5861 ± 443	1,18 ± 0,19	38,9 ± 3,8	170 ± 9
P. elliottii	19 ± 1	5958 ± 162	2,62 ± 0,19	44,7 ± 2,3	127 ± 6
P. taeda	23 ± 2	5819 ± 252	3,11 ± 0,47	44,6 ± 5,6	146 ± 19
P. caribaea	25 ± 3	6327 ± 223	1,81 ± 0,18	44,2 ± 3,7	150 ± 13
"Slash pine"	37 ± 4	9906 ± 670	2,50 ± 0,22	78,7 ± 3,5	153 ± 5
"Loblolly pine"	19 ± 2	8294 ± 534	2,81 ± 0,13	65,6 ± 1,8	154 ± 5

Quadro.15: Celuloses do tipo não-branqueável: propriedades estimadas a 0,600 g/cm³ de peso específico aparente das folhas

Propriedades Espécies	Tempo de moagem	Comprimento de auto-ruptura	Esticamento	Índice de arrebentamento	Índice de rasgo
A. angustifolia	34 ± 6	5909 ± 158	1,26 ± 0,14	41,2 ± 4,4	148 ± 13
P. elliotti	22 ± 2	6147 ± 183	2,44 ± 0,07	45,7 ± 1,6	116 ± 5
P. taeda	22 ± 6	6379 ± 371	3,43 ± 0,48	50,2 ± 4,1	143 ± 13
P. caribaea	29 ± 4	6640 ± 206	1,95 ± 0,09	51,2 ± 2,7	137 ± 11
"Slash pine"	44 ± 4	9190 ± 334	2,68 ± 0,23	75,5 ± 3,0	138 ± 10
"Loblolly pine"	31 ± 3	9189 ± 507	3,02 ± 0,21	74,9 ± 4,2	148 ± 8

permanganato nas propriedades das celuloses foram investigadas em ambos os casos. Esta investigação simultânea tornou-se possível pelo uso de análise de delineamentos fatorial também envolvem um importante conceito denominado interação. Neste trabalho, a relação entre espécies e números de permanganato foi estudada. A presença de interação significativa entre estas duas variáveis significava que as espécies tinham um comportamento diferente aos dois intervalos de permanganato para a propriedade em estudo.

3.2.1. Celuloses obtidas das madeiras brasileiras

O projeto experimental seguiu um delineamento fatorial 4 x 2 para espécies e números de permanganato.

Rendimentos brutos e depurados, tempos de moagem,

Os quadros 19 e 21 mostram a influência das variáveis do fatorial e o quadro 20 apresenta as médias para os teores de rejeitos das celuloses.

DISCUSSAO DOS RESULTADOS

As conclusões que foram tiradas neste trabalho não podem ser generalizadas para as espécies estudadas. Elas são especificamente válidas para os materiais e condições adotadas

Quadro 16: Celuloses das madeiras brasileiras: Influência das espécies e dos números de permanganato (n° K) nos rendimentos em celulose

Fonte de variação / Espécies	Rendimentos base madeira a.s. bruto	Rendimentos base madeira a.s. depurado	Rendimentos base madeira a.s. livre de extrativos bruto	Rendimentos base madeira a.s. livre de extrativos depurado
A. angustifolia	51,82	51,42	53,00	52,60
P. taeda	47,24	46,76	48,65	48,16
P. caribaea	48,49	47,97	49,51	48,99
Números de permanganato	47,56	45,77	48,40	46,58
16 - 18	46,93	46,29	48,00	47,36
25 - 30	50,62	49,67	51,78	50,81
Relação de Cochran	0,1808	0,2617	0,1852	0,2550
F para espécies	8,64*	11,37*	8,94*	12,33*
F para n° K	24,84*	21,40*	28,22*	24,44*
Interação espécies X n° K	3,36*	2,34	2,88	1,89
DMS para espécies	2,73	2,80	2,72	2,78
Coeficiente de variação (%)	4,62	4,81	4,51	4,68

Quadro 17: Celuloses das madeiras brasileiras: influência das espécies e dos números de permanganato (n° K) nos teores de rejeitos

Fonte de variação / Espécies	Teor de rejeitos base madeira a. s.	Teor de rejeitos base madeira a. s. livre de extrativos
A. angustifolia	0,40	0,40
P. elliottii	0,48	0,49
P. taeda	0,52	0,52
P. caribaea	1,79	1,82
Número de permanganato		
16 - 18	0,64	0,64
25 - 30	0,96	0,97

Quadro 18: Celuloses das madeiras brasileiras: influência das espécies e dos números de permanganato (n° K) nas propriedades das celuloses

Fonte de variação / Espécies	Tempo de moagem	Comprimento de autoruptura	Esticamento	Índice de arrebentamento	Índice de rasgo
A. angustifolia	28,2	5884,7	1,219	40,03	159,1
P. elliottii	20,9	6052,2	2,530	45,21	121,9
P. taeda	22,3	6098,9	3,274	47,39	144,7
P. caribaea	26,9	6483,4	1,877	47,66	143,6
Número de permanganato					
16 - 18	22,3	5991,2	2,181	43,08	148,6
25 - 30	26,8	6268,4	2,269	47,06	136,1
Relação de Cochran	0,3382	0,3421	0,3902	0,2841	0,3290
F para espécies	13,17*	13,71*	168,59*	13,89*	25,99*
F para n.° K	16,28*	16,44*	1,68	16,59*	20,40*
Interação espécies x n.° K	8,86*	7,56*	2,41	2,53	0,56
DMS para espécies	3,7	261,7	0,260	3,63	11,5
Coeficiente de variação (%)	12,49	3,53	9,62	6,66	6,68

na experimentação. Entretanto, elas se constituem em razoável contribuição acerca das possibilidades destes materiais para produção de celulose.

Deve-se observar ainda que, se as comparações entre as propriedades físico-mecânicas das celuloses fossem realizadas com base em outro peso específico aparente, as conclusões poderiam ser ligeiramente alteradas.

1. CARACTERÍSTICAS DAS MADEIRAS

As únicas propriedades que não mostraram diferenças significativas foram: solubilidades em água fria e quente, solubilidade em éter e teor de cinzas. Todas as outras propriedades da madeira mostraram pelo menos uma diferença significativa entre médias.

As madeiras jovens de desbaste dos **Pinus** do Brasil mostraram fibras, densidade básica

Quadro 19: Celuloses das madeiras norte-americanas: influência das espécies e dos números de permanganato

Fonte de variação	Rendimentos			
	base madeira a.s.		base madeira a.s. livre de extrativos	
Espécies	**bruto**	**depurado**	**bruto**	**depurado**
"Slash pine"	45,60	45,27	47,82	47,45
"Loblolly pine"	43,30	43,47	45,50	44,62
Números de permanganato				
16 - 18	42,98	42,68	45,13	44,79
25 - 30	45,92	45,06	48,19	47,28
Relação de cochran	0,3997	0,3551	0,3963	0,4327
F para espécies	58,78*	87,69*	45,00*	58,31*
F para n.° K	96,04*	63,36*	78,29*	45,19*
Interação espécies x n.° K	1,29	4,58*	1,66	3,14
Coeficiente de variação (%)	1,51	1,52	0,97	1,80

Quadro 20: Celuloses das madeiras norte-americanas: influência das espécies e dos números de permanganato (n° K) nos teores de rejeitos

Fonte de variação	Teor de rejeitos	
	base madeira a.s.	base madeira a.s. livre de extrativos
Espécies		
"Slash pine"	0,33	0,37
"Loblolly pine"	0,83	0,88
Números de permanganato		
16 - 18	0,30	0,34
25 - 30	0,86	0,91

Quadro 21 : Celuloses das madeiras norte-americanas: influência das espécies e dos números de permanganato (n° K) nas propriedades das celuloses

Fonte de variação	Tempo de moagem	Comprimento de auto-ruptura	Esticamento	Índice de arrebentamento	Índice de rasgo
Espécies					
"Slash pine"	40,7	9547,9	2,588	77,10	145,6
"Loblolly pine"	25,0	8741,8	2,912	70,27	151,3
Números de Permanganato					
16 - 18	27,9	9100,0	2,652	72,16	153,8
25 - 30	37,8	9189,7	2,848	75,21	143,1
Relação de Cochran	0,3855	0,2588	0,3367	0,4256	0,4992
F para espécies	148,49*	18,11*	19,58*	34,05*	4,95*
F para n° K	59,04*	0,22	7,17*	6,79*	17,45*
Interação espécies x n.° K	3,76	18,06*	0,04	29,61*	3,09
Coeficiente de variação (%)	8,77	4,63	5,95	3,55	3,86

e teor de celulose significativamente menores e maior teor de pentosanas, quando comparadas à de **A. angustifolia.**

Dentre as madeiras de **Pinus** brasileiros, as fibras de **Pinus caribaea** resultaram como as maiores, mais largas e mais espessas, sua madeira foi a mais densa, sua solubilidade em álcool-benzeno e teor de celulose foram menores e os teores de celulose e lignina foram maiores. Estas propriedades são bem correlacionadas com rendimentos e resistências das celuloses, portanto seu comportamento na produção de celuloses deverá ser provavelmente diferente das outras madeiras de desbaste.

Dentre todas as madeiras brasileiras, a de **A. angustifolia** caracterizou-se por possuir fibras mais longas e mais espessas, maiores densidades básicas e teor de celulose, e solubilidades em álcool-benzeno e teor de lignina relativamente baixos.

Com relação às madeiras norte-americanas, a de "slash pine" tinha fibras significativamente maiores e mais espessas, maior densidade básica e menor teor de pentosanas, quando comparada com a madeira de "loblolly pine".

Serão feitas considerações complementares relativas a esse assunto no item que se segue, onde serão discutidos os resultados dos ensaios das celuloses.

2. PROPRIEDADES DAS CELULOSES

2.1. Influência das espécies

2.1.1. Rendimentos em celulose

As duas propriedades da madeira que exercem maior influência nos rendimentos em celulose são densidade básica e teor de celulose (53). Existem inúmeras evidências que celuloses de maior rendimento são obtidas de madeiras de maior densidade e teor de celulose. O teor de lignina está também intimamente relacionado ao rendimento em celulose. Extrativos possuem um efeito menor (53). Porisso, um alto teor de extrativos é às vezes desejável para se aumentar a quantidade de sub-produtos valiosos como tall oil e terebintina.

2.1.1.1. Celuloses obtidas das madeiras brasileiras

Araucaria angustifolia mostrou maiores rendimentos tanto em base de madeira a.s. como de madeira a.s. livre de extrativos. Isso pode ser explicado pela maior densidade básica e teor de celulose e pelo ligeiramente inferior teor de lignina da madeira. Desde que a espessura da parede celular afeta indiretamente a densidade básica, ela também contribui para estes altos rendimentos. De acordo com Byrd e colaboradores (45), o índice de Runkel apresenta correlação positiva com o rendimento em celulose. O índice de Runkel, significativamente maior para as fibras de **A. angustifolia** pode também explicar estes altos rendimentos.

Quando os rendimentos obtidos das madeiras de desbaste de **Pinus** foram comparados pelo teste de Tukey, não se notaram diferenças significativas. Isso é extremamente importante ao se levar em conta que a economicidade é a principal limitação do uso deste tipo de madeira. Estes materiais produziram celuloses com menores rendimentos que **A. angustifolia** mesmo excluindo-se o efeito dos extrativos, mas eles não diferiram entre si acerca desta propriedade.

2.1.1.2. Celuloses obtidas das madeiras norte-americanas

Observou-se um efeito bastante significativo neste caso. As madeiras de "slash pine" sempre produziram celuloses com maiores rendimentos que as de "loblolly pine". Isso pode ser atribuído à sua maior densidade básica, teor de celulose e índice de Runkel.

2.1.2. Teor de rejeitos

As propriedades da madeira que estão diretamente relacionadas com o teor de rejeitos das celuloses correspondentes são (46): teor de umidade (-) * e densidade básica (+). Existe alguma indicação que o coeficiente de flexibilidade tem também influência no teor de rejeitos (46), mas esta evidência não está totalmente elucidada. Assume-se que este coeficiente seja uma medida da eficiência de penetração do licor no interior dos cavacos. O teor de extrativos da madeira apresenta apenas um ligeiro efeito no teor de rejeitos da celulose (46).

2.1.2.1. Celuloses obtidas das madeiras brasileiras

Araucaria angustifolia, Pinus elliottii e **Pinus taeda** produziram celuloses com teores de rejeitos aproximadamente iguais. Por outro lado, **P. caribaea** mostrou alto valor para esta propriedade. A razão exata para isso não está evidente. O maior teor de lignina desta madeira, talvez refletindo uma alta porcentagem de madeira de compressão, pode ser uma possível explicação.

2.1.2.2. Celuloses obtidas das madeiras norte-americanas

A influência das espécies é também evidente aqui. "Loblolly pine" mostrou-se sempre produzindo celuloses com maiores teores de rejeitos a um dado grau de deslignificação.

2.1.3. Tempo de moagem

Esta propriedade não é facilmente explicada em termos de características morfológicas das fibras. As propriedades comumente referidas como tendo influência no tempo de moagem são: teor de umidade dos cavacos (+), densidade básica (-) e espessura da parede (-) (46); comprimento da fibra (+), diâmetro do lúmen (+), teor de madeira de compressão (+) e índice de Runkel (-) (54), e coeficiente de flexibilidade (-) (55).

2.1.3.1. Celuloses obtidas das madeiras brasileiras

A influência das espécies foi caracterizada como significativa pela análise da variância. Quando os contrastes entre médias foram testados pelo teste de Tukey, as celuloses de **Araucaria angustifolia** e **Pinus caribaea** mostraram necessitar tempos mais longos que as celuloses das outras espécies para se atingir o peso específico aparente pré-fixado. **P. elliottii** e **P. taeda** forneceram celuloses que se refinavam facilmente, e portanto, consumiam menos energia durante esta operação. A dificuldade de refinação de celuloses de **A. angustifolia** é uma característica bem conhecida (26).

Baseado nas características morfológicas das fibras, a explicação correta destes resultados não é clara. Acredita-se que o alto teor de nós contido na madeira de **A. angustifolia** é a principal razão para o longo tempo de moagem. Comprimento de fibra é outra propriedade que poria ser responsável por esta característica. **P. caribae,** provavelmente em razão de seu largo lúmen, alto teor de lignina e baixo índice de Runkel. mostrou a mesma tendência da **A. angustifolia.**

2.1.3.2. Celuloses obtidas das madeiras norte-americanas

As celuloses de "slah pine"" necessitaram tempos mais longos de moagem. Aqui novamente, os efeitos de cada característica da madeira individualmente não se mostraram claros. Poder-se-ia assumir que o maior índice de Runkel e comprimento da fibra eram a razão deste comportamento. Entretanto, parece que o tempo de moagem é afetado pela morfologia da fibra através modelos mais complexos.

---

* (+) **correlação positiva**
(−) **correlação negativa**

2.1.4. **Comprimento de auto-ruptura**

O comprimento de auto-ruptura é uma das mais importantes e estudadas propriedades da celulose. Sua correlação com as características da madeira tem sido observada para: espessura da parede celular (-), coeficiente de flexibilidade (+), porcentagem de lenho tardio (-) e densidade básica (-) (46); diâmetro do lúmen (+) e índice de Runkel (-) (45); relação comprimento da fibra/ espessura da parede celular (+) (43); e relação de Mulsteph (-) (47).

2.1.4.1. **Celuloses obtidas das madeiras brasileiras**

Dentre as celuloses obtidas dos **Pinus** que se desenvolviam no Brasil, aquela de **P. caribaea** mostrou comprimento de auto-ruptura significativamente maior que as outras. Não foram notadas diferenças estatísticas entre as outras três espécies. **P. elliottii** e **P. taeda** mostraram resultados bastante similares e **A. angustifolia** apresentou o menor valor. O resultado comparativamente mais alto de **P. caribaea** poderia ser explicado por seus maiores diâmetro do lúmen, coeficiente de flexibilidade e relação comprimento/espessura da fibra, e ainda mais, por seu baixo índice de Runkel e relação de Mulsteph. O baixo valor desta propriedade para **A. angustifolia** pode ser uma consequência de suas fibras mais espessas, maior densidade básica e alta relação de Mulsteph e índice de Runkel.

2.1.4.2. **Celuloses obtidas das madeiras norte-americanas**

As celuloses de "slash pine" mostraram comprimento de auto-ruptura significativamente maiores que aquelas de "loblolly pine". Neste caso, os resultados obtidos não puderam ser satisfatoriamente explicados pelas características das madeiras.

2.1.5. **Esticamento**

Muito pouco se encontra na literatura acerca das causas de variação do esticamento. Esta é uma propriedade altamente dependente do procedimento de formação das folhas, já que estas possuem a capacidade de se contrairem durante a secagem. Bawagan (47) relatou as seguintes propriedades das fibras como diretamente relacionadas com o esticamento: comprimento das fibras (+), ângulo fibrilar (+) e coeficiente de flexibilidade (+).

2.1.5.1. **Celuloses obtidas das madeiras brasileiras**

Todas as espécies diferiram entre si com respeito ao esticamento e por ordem decrescente classificaram-se **P. taeda P. elliottii, P. caribaea** e **A. angustifolia.** Isso reflete um efeito negativo do comprimento de fibra ao invés de proporcionalidade positiva preconizada por Bawagan (47).

2.1.5.2. **Celuloses obtidas das madeiras norte-americanas**

Aqui também, a espécie de fibras mais longas produziu celulose com menor esticamento. As celuloses de "slash pine" foram significativamente inferiores com relação a essa propriedade.

2.1.6. **Índice de arrebentamento**

As seguintes propriedades da madeira afetam a resistência ao arrebentamento: espessura da parede celular (-) e comprimento de fibra (+) (46); densidade básica (-) e teor de lenho tardio (-) (56); diâmetro do lúmen (+), índice de Runkel (-) e coeficiente de flexibilidade (+) (54); e relação comprimento/espessura da fibra (+) (43). Barefoot e colaboradores (54) verificaram uma correlação negativa entre resistência ao arrebentamento e comprimento da fibra.

2.1.6.1. **Celuloses obtidas das madeiras brasileiras**

Araucaria angustifolia produziu celuloses com menor índice de arrebentamento que cada uma das três espécies de **Pinus**, porém, entre estas, não foram encontradas diferenças significativas. Modelo semelhante foi encontrado para o comprimento de auto-ruptura, embora para aquele, somente **P. caribaea** mostrava-se estatisticamente superior. Esta verificação coincide com as conclusões de Kirk & colaboradores (18), que relataram altas resistências à tração e arrebentamento para as celuloses de madeira juvenil, como consequência da melhor ligação inter-fibras dessas fibras flexíveis. O baixo índice de arrebentamento encontrado para as celuloses de **A. angustifolia** é provavelmente um efeito de suas paredes mais espessas; maiores densidade básica, índice de Runkel e relação comprimento/espessura da fibra e menor coeficiente de flexibilidade.

2.1.6.2. **Celuloses obtidas das madeiras norte-americanas**

As celuloses de "slash pine" mostraram-se superiores às de "loblolly pine" em termos de resistência ao arrebentamento. Da mesma forma que para a resistência à tração, os resultados aqui obtidos não puderam ser satisfatoriamente explicados com base nas características das madeiras.

2.1.7. **Índice de rasgo**

A importância desta propriedade na avaliação da qualidade das celuloses tornaram-se um parâmetro altamento estudado. Algumas características da madeira que afetam a resistência ao rasgo são: densidade básica (+), teor de lenho tardio (+), espessura da parede celular (+), índice de Runkel (+) e comprimento de fibra (+) (54); e diâmetro do lúmen (-) (45). Flexibilidade da fibra também tem-se mostrado desejável, principalmente quando combinada com fibras longas e de paredes espessas (54).

2.1.7.1. **Celuloses obtidas das madeiras brasileiras**

Os maiores índices de rasgo obtidos foram para **A. angustifolia** o que pode ser facilmente explicado pelas características de sua madeira. **P. elliottii** mostrou celuloses mais fracas e **P. taeda** e **P. caribaea** não se mostraram diferentes para esta propriedade. A baixa densidade básica da madeira de **P. elliotti,** refletindo a imaturidade da mesma, foi provavelmente a princi-

pal razão para este baixo resultado.

2.1.7.2. **Celuloses obtidas das madeiras norte-americanas**

"Loblolly pine" produziu celuloses com índices de rasgo superiores a "slash pine". As mesmas espécies, desenvolvendo no Brasil, mostraram também esta tendência. A conclusão de boa resistência ao rasgo para **P. taeda** concorda com os resultados obtidos por Zvinakevicius (26) em um ensaio industrial no Brasil.

2.2. **Influência dos números de permanganato**

A influência da lignina presente nas celuloses, expressa como teor de lignina ou outra medida qualquer usada para controle, é bem conhecida por afetar as propriedades das celuloses. Entretanto, a relação entre cada propriedade da celulose e o teor de lignina não é bem definida. Geralmente, aceita-se que a resistência da celulose decresce pelo aumento do teor de lignina (57, 58). Entretanto, cada celulose mostra seu próprio modelo de variação com respeito ao teor de lignina, visto que muitos fatores estão envolvidos na expressão destas relações. Algumas celuloses mostram um ligeiro aumento na resistência com o aumento do teor de lignina. Eventualmente quando o teor de lignina atinge um ponto limite, a resistência começa a cair rapidamente (59). Os rendimentos em celulose são as únicas propriedades em que a maioria dos investigadores está em concordância. Rendimento bruto mostra uma relação linear tanto com número Kappa (60) ou número de permanganato (61, 62). Rendimento depurado aumenta até um máximo e depois decresce pelo rápido aumento no teor de rejeitos (62, 63).

2.2.1. **Celuloses obtidas das madeiras brasileiras**

Tanto rendimentos brutos como depurados exibiram significativo aumento com o aumento do número de permanganato. Os teores de rejeitos mostraram esta tendência.

Os resultados da avaliação das propriedades físico-mecânicas das celuloses mostraram que o número de permanganato correlacionava-se positivamente com o tempo de moagem, comprimento de auto-ruptura e índice de arrebentamento, e, negativamente com o índice de rasgo. A despeito da variação em esticamento, a análise da variância não a mostrou significativa.

2.2.2. **Celuloses obtidas das madeiras norte-americanas**

O efeito do número de permanganato foi verificado ser positivo para rendimentos brutos e depurados, teores de rejeitos, tempos de moagem, esticamentos e índices de arrebentamento. Um efeito negativo foi encontrado para índices de rasgo. O efeito não significativo para comprimento de auto-ruptura foi explicado pela existência de uma interação reversa entre espécies e números de permanganato. O comprimento de auto-ruptura aumentou com o número de permanganato para as celuloses de "loblolly pine" e de cresceu para as de "slash pine".

2.3. **Interações entre espécies e números de permanganato**

As interações podem ser descritas como respostas diferenciais. A significância do Quadrado médio para interação na análise da variância indicava que pelo menos uma das espécies comportava-se de forma diferente nos dois intervalos de números de permanganato.

2.3.1. **Celuloses obtidas das madeiras brasileiras**

Efeitos significativos para interação foram encontrados para rendimento bruto (base madeira a.s.) tempo de moagem e comprimento de auto-ruptura. Os quadros 10, 11, 14 e 15 mostram o efeito diferencial das espécies em cada intervalo de número de permangato. Pode-se notar que para as propriedades citadas, espécies classificaram-se de forma diferente.

A remoção do efeito dos extrativos da madeira no rendimento bruto eliminou este comportamento diferente das espécies nos dois intervalos de número de permanganato.

2.3.2. **Celuloses obtidas das madeiras norte-americanas**

Foram verificados efeitos significativos para interação entre rendimentos depurados (base madeira a.s.), comprimento de auto-ruptura e índice de arrebentamento. Igualmente, ao se expressar os rendimentos base madeira a.s. livre de extrativos, a resposta diferencial para espécies foi eliminada.

RESUMO E CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi comparar as características das madeiras e propriedades das celuloses kraft obtidas de diversas espécies de coníferas, 4 delas crescendo no Brasil e 2 nos Estados Unidos da América. As quatro madeiras do Brasil, **Araucaria angustifolia, Pinus elliotti** var **elliottii, P. taeda** e **P. caribaea** var. **hondurensis,** foram amostradas, analisadas, deslignificadas e ensaiadas neste país. As duas madeiras norte-americanas, **Pinus elliottii** var. **elliottii** "slash pine" **e P. taeda** ("loblolly pine") foram estudadas nos EE.UU. Medições de fibras, análises químicas e determinações da densidade básica foram realizadas em todas as madeiras. As madeiras das três espécies do gênero **Pinus** que se desenvolviam no Brasil eram provenientes de desbastes iniciais nos povoamentos, continham alta porcentagem de madeira juvenil.

As madeiras foram deslignificadas pelo processo kraft a dois intervalos de número de permanganato: 16 a 18 e 25 a 30. O objetivo era comparar celuloses com teores de lignina equivalentes.

As madeiras dos **Pinus** brasileiros mostraram fibras curtas,

baixas densidades e teores de celuloses e maiores teores de pentosanas.

Araucaria angustifolia caracterizou-se por possuir fibras longas e de paredes espessas, maiores densidade e teor de celulose, e relativamente baixa solubilidade em álcool-benzeno. A madeira de "slash pine" tinha fibras mais longas e espessas, maior densidade e menor teor de pentosanas que a de "loblolly pine".

As celuloses obtidas de madeira de **A. angustifolia** mostraram alta resistência ao rasgo, mas baixas resistências à tração e ao arrebentamento. Por outro lado, as madeiras de **Pinus** jovens produziram celuloses com resistências à tração e ao arrebentamento superiores. A resistência ao rasgo foi baixa para **P. elliottii** e **P. caribaea** mas razoável para **P. taeda.** As celuloses de **P. caribaea** mostraram maiores índices de arrebentamento e comprimento de auto-ruptura e necessitavam de período de tempo mais longo para se atingir um peso específico aparente preestabelecido. O mesmo tipo de variação para tempo de moagem foi notado para as celuloses de **A. angustifolia.** As espécies de fibras mais curtas produziram as celuloses com maiores esticamentos.

A principal objeção ao uso das celuloses obtidas de madeiras juvenis dos **Pinus** que cresciam no Brasil foi o baixo rendimento. Este importante fator conduz a um problema econômico muito grande que é a alta necessidade em madeira para se produzir uma unidade de peso de celulose. Acrescente-se ainda outro problema que é a baixa densidade destas madeiras. Entretanto, este trabalho demonstrou que as celuloses kraft destas madeiras possuem resistências aceitáveis.

As duas espécies de **Pinus** norte-americanos estudados produziram celuloses bastante resistentes, mas baixo rendimento. Comparando-se as duas espécies, "slash pine" teve maiores rendimentos, comprimentos de auto-ruptura e índices de arrebentamento, enquanto "loblolly pine" mostrava maiores índices de rasgo e esticamento e era mais facilmente refinado.

Os efeitos do número de permanganato nas propriedades das celuloses e a interação entre espécies e números de permanganato foram isolados e analisados com sucesso.

Para todas as espécies, rendimentos em celulose, tempo de moagem e índice de arrebentamento aumentaram significativamente com o aumento do número de permanganato, mas o índice de rasgo decresceu.

Para as espécies de **Pinus** que se desenvolviam no Brasil, efeitos significativos de interação foram encontrados para rendimento bruto (base madeira a.s.), tempo de moagem e comprimento de auto-ruptura. Para as madeiras norte-americanas, estes efeitos foram significativos para rendimento depurado (base madeira a.s.), comprimento de auto-ruptura e índice de arrebentamento.

BIBLIOGRAFIA

1. Suchek, V. 1. "F.A.O./N.O.R. A.D. Symposium on Production, Handling and Transport of Wood Chips", Country Report, Brazil, 1972, p. 1.
2. Suchek, V. I. "As Florestas Plantadas e a Indústria de Polpa e Papel no Brasil", PRODEPEF Série Estudos nº 2, p. 124, (1975)
3. Mirov, N. T. "The Genus Pinus", New York, Ronald Press Company, 1967, p. 3.
4. Koch, P. "Utilization of the Southern Pines", Washington, D. C., U. S. Department of Agriculture Forest Service, 1972, Vol. 1, p. 2.
5. USDA Forest Service. "Timber Trends in the United States", USDA Forest Resource Report 17, 1965, p. 112.
6. Koch, P. "Utilization of the Southern Pines", 1st edn. Washington, D. C., U.S. Department of Agriculture Forest Service, 1972, 2 vols., 1663 p.
7. Foelkel, C. E. B. "Unbleached Kraft Pulp Properties of Some of the Brazilian and U. S. Pines", Tese de Mestrado, SUNY College of Environmental Science and Forestry, Syracuse, N. Y., USA, 1973, 192 p.
8. Cotè, W. A., Jr., & Day A. C. "Wood Ultrastructure of the Southern Yellow Pines", State University College of Forestry, Syracuse, Univ. Tech. Pub. 95, 1969, 70 p.
9. Hall, J. A. & Gisvold, O. J. **Biol. Chem.** 109: 585-595 (1935).
10. Hall, J. A. & Gisvold, O. J. **Biol. Chem.** 113: 487-496 (1936).
11. Posey, C. E. & Robinson, D. W. **Tappi** 52 (1): 110-115 (1969).
12. Stanley, R. G. **Forest Products Journal** 19 (11): 50-56 (1969).
13. McMillin, C. W. **Wood Science and Technology** 2: 166-176 (1968).
14. Zobel, B. J. In "Recent Advances in Botany", Canada, University of Toronto Press, 1961, p. 1663-1665.
15. Zobel, B. J., Kellison, R. C., Matthias, M. F. & Hatcher, A. V. "Wood Density of the Southern Pines". North Carolina Agric. Exp. Station Tech. Bul. No. 208, 1972, 56 p.
16. Zobel, B. J. & McElwes, R. L. **Tappi** 41 (4): 158-161 (1958)
17. Zobel, B. J., Webb, C. & Henson, F. **Tappi** 42 (5): 345-356 (1959).
18. Kirk, D. G., Breeman, L. G. & Zobel, B. J. **Tappi** 55 (11): 1600-1604 (1972).
19. Foelkel, C. E. B., Ferreira, M., Nehring, J. H. & Rolim, M. B. **IPEF** (10): entregue para publicação, (1975).
20. Kleppe, P. J. **Forest Products Journal** 20 (5): 50-59 (1970)
21. Anon. "Fifteenth Annual Report", N. C. State University Coop. Tree Improv. Prog., 1971, p. 50.
22. Zobel, B. J. **Tappi** 53 (12): 2320-2325 (1970).
23. Barefoot, A. C., Hitchings, R. G. & Ellwood, E. L. **Tappi** 47 (6): 343-356 (1964).
24. Einspahr, D. W., Van Buijtenen, J. P. & Peckham, J. R., **Silvae Genetica** 18 (3): 57-61 (1969).
25. Redko, B. V. P. & Guimarães, J. P. M. **O Papel** 3 (2): 31-36 (1970).

26. Zvinakevicius, C. In "Proceeding of the First Annual Meetin of the First Annual Meeting of the Brazilian Technical Pulp and Paper Association", 1968, 10 p.
27. Koch, P. "Utilization of the Southern Pines", Washington, D. C., U. S. Department of Agriculture Forest Service, 1972, Vol. 2, p. 1431.
28. Koch, P. "Utilization of the Southern Pines", Washington, D. C. U. S. Department of Agriculture Forest Service, 1972, Vol. 2, p. 1445.
29. Rydholm, S. A. "Pulping Processes", New York, Interscience Publishers, 1965, p. 611.
30. Rys, L., Aron, G., and Overbaeck, W. **Tappi** 35 (4): 147-156 (1952).
31. Palmer, E. R. & Gibbs, J. A. **Tropical Products Institute Report L 12,** 23 p. (1967).
32. Palmer, E. R. & Gibbs, J. A. **Tropical Products Institute Report L 14,** 27 p. (1968).
33. Palmer, E. R. & Gibbs, J. A. **Tropical Products Institute Report L 15,** 49 p. (1969).
34. Palmer, E. R. & Gibbs, J. A. **Tripical Products Institute Report L 23,** 31 p. (1970).
35. Palmer, E. R. & Gibbs, J. A. **Tropical Products Institute Report L 24,** 23 p. (1971).
36. Palmer, E. R. & Gibbs, J. A. **Tropical Products Institute Report L 25,** 35 p. (1971).
37. Palmer, E. R. & Tabb, C. B. **Tropical Science** 10 (2): 79-99 (1968).
38. Fairest, R. W. **Boletin Instituto Forestal Latino Americano de Investigacion y Capacitacion** 25: 33-58. (1967)
39. Von Koeppen, A. & Sitzman, L. **Appita Proceedings:** 264-289 (1954)
40. Phillips, F. H. & Watson, A. J. **Appita:** 156-166 (March 1959).
41. Anon. **The Timberman:** 41-42 (Maio 1928).
42. Rydholm, S. A. "Pulping Processes, New York, Interscience Publishers, 1965, p. 53.
43. Horn, R. A. **Chem 26 Paper Processing:** 39-44 (Maio 1972)
44. Mottet, A. In "Proceedings of the 6th EUCEPA Symposium and 8th European Tappi Meeting": 2.1.-2.5 (1962)
45. Byrd, V. L., Ellwood, E. L., Hitchings, R. G. & Barefoot, A.C. **Forest Products Journal** 15 (8): 313-320 (1965).
46. Barefoot, A. C., Hitchings, R. G., Ellwood, E. L. & Wilson, E H. North Carolina Agricultural Experiment Station Tech. Bul. No. 202, 88 p. (1970).
47. Bawagan, P. V. "The Analyses of Some Fundamental Fiber-Paper Property Relationships", Tese de doutorado, Technical University of Norway, 1972, 98 p.
48. Luce, J. E. In "The Physics and Chemistry of Wood Pulp Fibers", TAPPI STAP Series No. 8, 1970, p. 278-281.
49. Smith, D. M. U. S. **Forest Products Laboratory Report** No. 2014, 8 p. (1954).
50. Foelkel, C. E. B., Brasil, M. A. M. & Barrichelo, L. E. G. **IPEF** (2/3): 65-74 (1971).
51. LeClerg, E. L., Leonard, W. H., & Clark, A. G. "Field Plot Technique", 2nd edn. Minneapolis, Burgess Publishing Company, 1962, p. 338.
52. Clark, A. G. & Leonard, W. H. **Jour. Amer. Soc. Agron.** 31: 55-66 (1939).
53. Van Buijtenen, J. P. In "IUFRO Proceedings of the 14th Congress", 1967. Vol. 9, p. 243-262.
54. Barefoot, A. C., Hitchings, **Tappi** 49 (4): 137-147 (1966). R. G. & Ellwood, E. L.
55. Dinwoodie, J. M. **Tappi** 49 (2): 57-67 (1966).
56. Sugden, E. A. **Pulp and Paper Magazine of Canada** 68 (6): T-273, T-279 (1967).
57. Jayme, G. **Aust. Pulp Paper Ind. Tech. Assoc. Proc.** 3: 432 (1949).
58. Watson, A. J. **Appita** 14 (4): 144-158 (1961).
59. Annergren, G., Rydholm, S. A. & Vardheim, S. In "Proceedings of the 6th EUCEPA Symposium and 8th European TAPPI Meeting", 4.1.-4.15 (1962).
60. Keays, J. L. & Hatton, J. V. **Pulp and Paper Magazine of Canada** 73 (10): 100-105 (1972).
61. Hatton, J. V., Keays, J. L. & Hejjas, J. **Pulp and Paper Magazine of Canada** 73 (4): 63-69 (1972).
62. Chollet, J. L., Powell, F. G., Duffy, M. G. & Buser, R. C. **Pulp and Paper Magazine of Canada** 62 (10): T-468, T-472 (1961).
63. Snyder, J. M. "Optimum Degree of Cooking for a Bleachable Sulfate Pulp from Sweetgum", Tese de mestrado, SUNY College of Environmental Science and Forestry, 1973, 95 p.