

EVERILTON JOSÉ CIT

**QUALIDADES DA FOLHA DE POLPA KRAFT
EM DIFERENTES PROPORÇÕES
DE *Pinus taeda* L. E *Eucalyptus dunnii* M.**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal, área de concentração em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais

Orientador: Prof. Dr. Umberto Klock

**CURITIBA
2007**



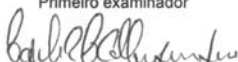
Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

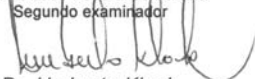
PARECER
Defesa nº. 724

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir o(a) mestrando(a) *Everilton José Cit* em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "**QUALIDADES DA FOLHA DE POLPA KRAFT EM DIFERENTES PROPORÇÕES DE *Pinus taeda* L. E *Eucalyptus dunnii* M.**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de **Mestre** em Engenharia Florestal, área de concentração em **TECNOLOGIA E UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS**.


Dr. Silvana Nisgóski


Universidade do Contestado - Canoinhas-SC
Primeiro examinador


Dr. Carlos Eduardo Camargo de Albuquerque
Universidade Federal do Paraná
Segundo examinador


Dr. Umberto Klock
Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora



Curitiba, 10 de dezembro de 2007.


Graciela Ines Bolzon de Muniz
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Antonio Carlos Batista
Vice-coordenador do curso

**Para os meus filhos,
Vitor e Georgia**

AGRADECIMENTOS

À todas as pessoas envolvidas com o programa de pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, pelo trabalho sério e competente.

Aos professores Umberto Klock, Graciela Inês Bolzon de Muñiz e Henrique Soares Koehler que entre outros dedicaram especial atenção na elaboração do texto.

Aos colegas do Laboratório de Polpa e Papel pela ajuda que tornou possível este trabalho.

À empresa Rigesa pelo espírito de colaboração com a pesquisa acadêmica.

Aos amigos e familiares pelo apoio e incentivo.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Everilton José Cit nasceu em 27 de março de 1964 filho de Ziberto Cit e Everli Ema Rocha Cit, em Curitiba. É professor do Departamento Acadêmico de Desenho Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná desde 1988. Em 2005 graduou-se em Engenharia Industrial Madeireira pela Universidade Federal do Paraná, tendo sido o primeiro colocado, desta engenharia, no exame nacional de cursos, ENADE, recebendo como prêmio bolsa da CAPES para a realização de doutorado no Brasil.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	x
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 EUCALIPTO E PINUS	3
2.2 MISTURA DE FIBRAS	5
2.3 QUALIDADE DA MADEIRA	6
2.4 POLPAÇÃO	11
2.5 PROPRIEDADES DO PAPEL	13
3 MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1 MATERIAL	18
3.2 MÉTODOS	19
3.2.1 Qualidade da matéria-prima	19
3.2.2 Obtenção e caracterização da polpa celulósica	20
3.2.3 Preparação da composição e elaboração das folhas	21
3.2.4 Ensaio das folhas	22
3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	23
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
4.1 CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA	24
4.2 CARACTERÍSTICAS RESIDUAIS DO COZIMENTO	25
4.3 CARACTERÍSTICAS DA POLPA	25
4.4 PROPRIEDADES FÍSICAS DAS FOLHAS	27
4.4.1 Espessura	27
4.4.2 Gramatura	28
4.4.3 Densidade e volume aparentes.....	29
4.4.4 Alvura	31
4.4.5 Opacidade	33

4.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS FOLHAS	34
4.5.1 Tração	34
4.5.2 Comprimento de auto-ruptura	36
4.5.3 Rasgo	37
4.5.4 Arrebentamento	38
4.5.5 Permeância ao ar	39
5 CONCLUSÕES	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	42
APÊNDICE 1 – DADOS ESTATÍSTICOS DA PREPARAÇÃO E	
CARACTERIZAÇÃO DA POLPA CELULÓSICA	47
APÊNDICE 2 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA)	58
APÊNDICE 3 – COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TESTE DE TUKEY)	61

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - COMPOSIÇÃO MÉDIA DE MADEIRAS DE CONÍFERA E FOLHOSAS	7
TABELA 2 - NÚMERO DE REPETIÇÕES SUGERIDO PARA TESTES NORMATIZADOS	17
TABELA 3 - RELAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS UTILIZADOS NA CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA.	19
TABELA 4 - RELAÇÃO DAS NORMAS USADAS PARA ENSAIO DA FOLHA	22
TABELA 5 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO EUCALIPTO E PINUS	24
TABELA 6 - DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA DE EUCALIPTO E PINUS	24
TABELA 7 - VISCOSIDADE DA POLPA DE EUCALIPTO E PINUS.....	26
TABELA 8 - DIMENSÕES E ÍNDICES DAS FIBRAS EUCALIPTO E PINUS.....	26
TABELA 9 - GRAMATURA, ESPESSURA, DENSIDADE E VOLUME APARENTE EM FUNÇÃO DO PERCENTUAL DE EUCALIPTO.....	30
TABELA 10 - PERCENTUAL DE EUCALIPTO E ALVURA E OPACIDADE	32
TABELA 11 - PERCENTUAL DE EUCALIPTO, ÍNDICES DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO, RASGO, ARREBENTAMENTO E PERMEÂNCIA AO AR	35

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – MAPA DA REGIÃO SUL DO BRASIL	18
FIGURA 2 – VARIAÇÃO DA ESPESSURA EM FUNÇÃO DO PERCENTUAL DA MISTURA DE EUCALIPTO E PINUS NA FOLHA	28
FIGURA 3 - VARIAÇÃO DA GRAMATURA EM FUNÇÃO DO PERCENTUAL DA MISTURA DE EUCALIPTO E PINUS NA FOLHA	29
FIGURA 4 - VARIAÇÃO DA DENSIDADE APARENTE NA MISTURA DE EUCALIPTO E PINUS NA FOLHA	30
FIGURA 5 - VARIAÇÃO DO VOLUME APARENTE NA MISTURA DE EUCALIPTO E PINUS NA FOLHA	31
FIGURA 6 - VARIAÇÃO DA ALVURA NA MISTURA DE EUCALIPTO E PINUS NA FOLHA	32
FIGURA 7 - VARIAÇÃO DA OPACIDADE NA MISTURA DE EUCALIPTO E PINUS NA FOLHA	33
FIGURA 8 - VARIAÇÃO DO ÍNDICE DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA MISTURA DE EUCALIPTO E PINUS NA FOLHA ..	35
FIGURA 9 - VARIAÇÃO DO COMPRIMENTO DE AUTO-RUPTURA NA MISTURA DE EUCALIPTO E PINUS NA FOLHA ..	36
FIGURA 10 - VARIAÇÃO DO ÍNDICE DE RASGO NA MISTURA DE EUCALIPTO E PINUS NA FOLHA .	37
FIGURA 11 - VARIAÇÃO DO ÍNDICE DE ARREBENTAMENTO NA MISTURA DE EUCALIPTO E PINUS NA FOLHA	38
FIGURA 12 - VARIAÇÃO DA PERMEÂNCIA AO AR NA MISTURA DE EUCALIPTO E PINUS NA FOLHA	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA – Álcali ativo.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

APPITA – Technical Association for the Pulp and Paper Industry of Australia and New Zealand

AS% - Percentual de material absolutamente seco.

BRACELPA - Associação Brasileira de Celulose e Papel

COPANT – Comissão Panamericana de Normas Técnicas

H – Fator que representa o produto do tempo pela temperatura de cozimento.

ISO – International Standards Organization

L/M – Relação entre a quantidade de licor pela quantidade de madeira

S – Sulfidez ou percentual de sulfato contido no álcali ativo.

SR – Schopper Riegler

SCAN – Scandinavian Pulp, Paper and Board Testing Committee

TAPPI – Technical Association of Pulp and Paper Industry

RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo demonstrar as variações das propriedades da folha resultante da mistura de polpa celulósica de *Eucalyptus dunnii* e *Pinus taeda*, em composições que variam de zero a cem por cento de participação de cada espécie. Para a obtenção da polpa utilizou-se o processo kraft, fixadas iguais condições de cozimento (AA=16%, S=25%, L/M=1/4 e H=800) e refino das matérias primas. As amostras foram obtidas na forma de cavacos, caracterizados em seu teor de lignina, extrativos e densidade. As polpas celulósicas foram analisadas e descritas pelo número kappa, viscosidade e dimensões das fibras. As misturas foram realizadas a partir das polpas separadas e refinadas a um grau de refinação de Shopper Riegler de 25, partindo-se da folha composta totalmente de polpa de *Eucalyptus* e acrescentando gradativamente (de 10 em 10%) a polpa de *Pinus* até 100% desta. As folhas geradas foram ensaiadas nas seguintes propriedades: espessura, gramatura, densidade aparente, volume aparente, alvura, opacidade, tração, rasgo, arrebentamento e permeância ao ar. Os resultados foram expressos em gráficos onde se observa a variação das propriedades em função da variação do percentual da composição de fibras longas e curtas. O estudo oferece uma contribuição inicial a possíveis futuras pesquisas com estas espécies, que explorem a variação de parâmetros que nele foram fixados. Pôde-se concluir que a mistura de fibras pode ser interessante tanto na busca de propriedades específicas do papel como na exploração racional e econômica das matérias primas.

Palavras-chave: Propriedades do papel, polpa celulósica, celulose, *Eucalyptus dunnii*, *Pinus taeda*, mistura de fibras.

ABSTRACT

This research had as objective to demonstrate properties variations of the resultant paper of the cellulosic pulp mixture of *Eucalyptus dunnii* and *Pinus taeda* in compositions that vary of zero to one hundred percent of participation of each species. For the attainment of the pulp the kraft process was used, fixed equal conditions of cooking (AA=18%, S=25%, L/W=1/4 and H=800) and refining of the raw material. The samples had been gotten in the form of chips, that had been characterized in lignin content, extratives and density. The cellulosic pulps had been analyzed and described by the number kappa, viscosity and fibers dimensions. The mixtures had been carried through separate and refined pulps to a degree Shopper 25, coming from paper total composed of *Eucalyptus* and adding gradual (of 10 in 10%) the *Pinus* up to 100% of this. The generated sheets of paper had been assayed in the following properties: thickness, grammage, density, bulk, brightness, opacity, tensile strength, tear, burst strength and air resistance. The results had been express in graphs where it observes the properties variation in function of the percentage variation of the long and short fiber composition. The study offers a possible initial contribution to the future researchs with these species, that explore the parameter variation that in it had been fixed. It could be concluded that the fiber mixture can be interesting in the search of paper specific properties as well as in rational and economic exploration of the raw material.

Keywords: paper properties, cellulosic pulp, cellulose, *Eucalyptus dunnii*, *Pinus taeda*, mixed fibers.

1 INTRODUÇÃO

O evidente potencial de desenvolvimento do setor papelero no Brasil leva a acreditar na possibilidade de que o país venha a se tornar, em breve, uma referência mundial no assunto. Atualmente estão plantados 1,7 milhão de hectares de Pinus e Eucaliptos, o país é o maior produtor de celulose de fibra curta de Eucalipto do mundo e o 11° na fabricação de papel (BRACELPA, 2007). O futuro de empresas, profissionais e pesquisadores tem nos recursos naturais um apoio sólido e nos recursos humanos, tecnológicos e de capital grandes desafios.

A exploração racional de recursos é um impositivo às atividades industriais cada vez mais competitivas e responsáveis socialmente. Para atender a um mercado consumidor exigente por produtos de qualidade e a menor preço, é preciso conhecer e criar alternativas para as matérias primas e processos de produção.

Esta dissertação ventila a tese de que ao misturar fibras de diferentes espécies com distintas características, e em diferentes proporções, se possa formar papéis com propriedades que podem variar diferentemente, propriedade a propriedade, e de forma nem sempre linear. Ao partir de uma propriedade superior do papel de uma espécie, não se chegará, obrigatoriamente, de forma linear à propriedade inferior da outra espécie, quando varia-se as composições percentuais entre as duas na confecção deste.

A predição da variação das propriedades não é de fácil dedução teórica e os valores numéricos devem ser medidos em ensaios laboratoriais. Isto justifica a necessidade da elaboração cuidadosa de experimentos que possam gerar valores referenciais para estudos comparativos. O presente trabalho mostra estes valores para duas espécies que serão misturadas, uma de fibra curta, o *Eucalyptus dunnii* M. e outra de fibra longa, o *Pinus taeda* L..

Para que as propriedades demonstradas possam ser eventualmente comparadas com as de outros papéis, e se observem vantagens e desvantagens, torna-se necessária tanto a apresentação de dados de caracterização da matéria prima e da polpa celulósica obtida nas determinadas condições, quanto a expressão clara dos resultados e tendências, permitindo a reprodução dos parâmetros de

formação das folhas e a identificação de fatores que favoreçam ou prejudiquem a qualidade do papel.

Este trabalho objetiva, portanto, demonstrar através de ensaios físicos e mecânicos, as variações de propriedades das folhas elaboradas da composição percentual da pasta celulósica, obtida pelo processo químico conhecido como kraft, a partir das madeiras de *Eucalyptus dunnii* M. e *Pinus taeda* L., incentivando o uso racional destas matérias-primas.

Ao longo do desenvolvimento do experimento se almeja:

- Avaliar a qualidade da matéria prima usada, mediante a determinação de suas características físicas e químicas.
- Reconhecer a qualidade da polpa produzida pelas suas propriedades físicas e químicas.
- Apreciar as propriedades físicas e mecânicas da folha produzida, através de ensaios de laboratório.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Papel é um produto bidimensional produzido a partir de uma suspensão aquosa de fibras, que são entrelaçadas aleatoriamente e desaguadas por processos mecânicos e térmicos. A folha formada a partir da polpa celulósica pode, o que geralmente acontece, receber aditivos orgânicos ou minerais para conferir-lhe melhores propriedades (KLOCK, 1998).

A madeira é a principal fonte de fibras para a produção de papel, dividida em dois grandes grupos: as dicotiledôneas arbóreas (*Angiospermae*) e coníferas (*Gymnospermae*). As angiospermas também são conhecidas por folhosas, porosas, duras ou “hardwood”. As gimnospermas por resinosas, não porosas, moles ou “softwood”. A celulose proveniente de coníferas mostra uma maior resistência ao rasgo e aquela proveniente de folhosas uma alta resistência à tração e ao arrebatamento e um maior rendimento em celulose (IPT, 1981).

2.1 EUCALIPTO E PINUS

A anatomia das madeiras de coníferas é mais simples que a das folhosas, por serem mais antigas na ordem evolutiva. Seus principais elementos estruturais são os traqueóides axiais ou “fibras”, que ocupam 95% do volume da madeira (BURGER E RICHTER, 1991). Os traqueóides são células estreitas e alongadas, com comprimento médio em torno de 2 a 5 mm (IPT, 1981).

Pinus taeda é a mais importante dentre as espécies florestais plantadas, comercialmente, no Sul e Sudeste dos Estados Unidos. Ela ocorre em toda a região, desde o estado de Delaware, no Nordeste, até o Texas, no oeste e, ao sul, até a região central da Flórida. Essa área abrange ecossistemas desde a planície costeira Atlântica até os Montes Apalaches e, ao oeste, estende-se até o oeste do Rio Mississippi. A cobertura florestal com esta espécie, nos Estados Unidos, é estimada em 11,7 milhões de hectares (EMBRAPA, 2007).

No Brasil, esta é a espécie mais plantada do gênero entre os Pinus, abrangendo aproximadamente um milhão de hectares, no planalto da Região Sul do

Brasil, para produção de celulose, papel, madeira serrada, chapas e madeira reconstituída. Os plantios iniciais, feitos com semente sem controle de qualidade (normalmente coletadas de povoamentos de baixa qualidade nas origens) resultavam em povoamentos de má qualidade de fuste e ramos, apesar do vigor da alta produção de biomassa lenhosa. Atualmente, estão disponíveis no mercado, sementes geneticamente melhoradas que permitem a formação de povoamentos comerciais de maior produtividade e melhor qualidade da madeira do que na fase inicial de expansão dos plantios florestais (EMBRAPA, 2007).

Em toda a região de ocorrência natural de *Pinus taeda*, o clima é úmido, temperado-ameno, com verões quentes e longos. A precipitação média anual varia de 1.020 mm a 1.520 mm e o período livre de geadas varia de cinco meses na parte norte até dez meses, na parte costeira sul. As temperaturas médias anuais variam de 13° C a 24° C, podendo chegar à mínima extrema de -23° C. No Brasil, esta espécie se desenvolve bem nas regiões com clima fresco e inverno frio, com disponibilidade constante de umidade durante o ano. Esta condição é encontrada em todo o planalto das Regiões Sul e Sudeste (EMBRAPA, 2007).

As angiospermas dicotiledôneas são vegetais mais evoluídos, portanto, sua composição anatômica é bem mais complexa e especializada que as gimnospermas. Sua estrutura é composta principalmente de vasos, fibras, parênquima axial e radial. Fibras são células peculiares a angiospermas, compondo de 20 a 80% do seu lenho, são esbeltas de extremidades afiladas, que lembram ligeiramente traqueóides axiais de lenho tardio, porém mais curtos, em média de 0,5 a 2,5 mm (BURGER E RICHTER, 1991).

Desde a ocorrência da geada de julho de 1975, considerada uma das mais fortes já registradas no Brasil e que causou grandes prejuízos ao setor florestal, o *Eucalyptus dunnii* Maiden vem destacando-se como espécie promissora para a região de ocorrência de geadas. Além disso, a espécie apresenta boa forma e bom desenvolvimento (HIGA, 1998).

O *Eucalyptus dunnii* Maiden tem uma ocorrência natural restrita ao nordeste do estado de Nova Gales do Sul e sudeste do estado de Queensland, Austrália. O clima nessas áreas é do tipo Cfa (Koeppen), subtropical úmido com temperatura média máxima do mês mais quente entre 27 °C a 30 °C e a média das mínimas do mês mais frio entre 0 °C e 3 °C, podendo ocorrer de 20 a 60 geadas por ano. A

precipitação média anual está entre 1.000 mm a 1.750 mm, concentrada no verão, mas nenhum mês com menos de 40 mm. A estação seca no inverno, não excede a 3 meses. A espécie é encontrada principalmente nas partes mais baixas dos vales e encostas, mas também cresce nos topos de elevações em solos basálticos próximos à mata tropical da Austrália. O *Eucalyptus dunnii* prefere solos úmidos e férteis, principalmente de origem basáltica, mas também cresce em solos derivados de rochas sedimentares, principalmente naqueles com boas condições de drenagem. É mais tolerante à composição química do que física do solo. O *Eucalyptus dunnii* é uma espécie da floresta aberta alta e é comumente associado ao *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus microcorys*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus propinqua*, *Eucalyptus dalrympleana* subsp. *heptantha* e *Casuarina tortuosa* (BOLAND *et al.* 1984).

HIGA *et al.* (1997) indicam a adequação da espécie para a região sul do Brasil. Resultados verificados aos oito anos de idade, em Campo do Tenente, PR mostram a espécie, comparada a outras 20 do gênero, entre as melhores em resistência a geadas e crescimento. OLIVEIRA (1988) relata que o *E. dunnii*, junto com *E. viminalis*, apresentaram crescimento melhor que outras 31 espécies de eucaliptos na região de Três Barras, SC.

2.2 MISTURA DE FIBRAS

Segundo FOELKEL e BARRICHELO (1975), misturas de celulose de coníferas e folhosas são bastante comuns para a produção de diferentes tipos de papéis. Os resultados, do ponto de vista das propriedades, são altamente dependentes do grau de refino das fibras misturadas (ARLOV, 1962).

Misturas de polpas celulósicas de Pinus e Eucalipto podem ser usadas para a produção de papéis com propriedades de nível superior a aquelas feitas com as polpas isoladamente. Em trabalho usando diferentes proporções de Pinus e Eucalipto, SACON, MENOCELLI e RATNIEKS (1994) mostram que a fibra longa aumenta a resistência ao rasgo e que tração e arrebentamento mantêm-se correlacionadas ao longo da variação da mistura.

GARLET, ANDRIOTTI e SACON (1991) avaliaram propriedades do papel a partir de misturas de 0, 25, 70 e 100% de polpas branqueadas de Eucalipto e Pinus

e observaram um incremento das qualidades óticas a partir do aumento da proporção de Eucalipto na mistura. A tração obteve os melhores resultados na composição de 25% de Eucalipto e a resistência ao rasgo apenas decresceu com o acréscimo das fibras curtas.

Estudando a mistura de cavacos de *Pinus strobus* e *Eucalyptus urophylla* no cozimento Kraft em proporções de 0, 33, 66 e 100%, OLIVEIRA *et al.* (1981) observaram a significativa ação do Pinus no aumento da resistência ao rasgo. As fibras longas aumentaram a resistência ao arrebatamento quando adicionadas em baixo grau de refino.

CHEN, GARCEAU e KOKTA (1978) estudaram a mistura de espécies de fibras curtas e longas na qualidade da polpa Kraft com as espécies *Picea glauca* e *Populus tremuloides* observando pequeno acréscimo de rendimento depurado e menor geração de rejeitos. Em pequenas proporções de fibra curta na mistura não verificaram alterações significativas na resistência a úmido.

BASSA (2006) estudando misturas de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus globulus* com *Pinus taeda* na produção de celulose kraft encontrou incremento, ao longo da adição de Pinus, na resistência ao rasgo e um decréscimo no índice de tração.

2.3 QUALIDADE DA MADEIRA

É sempre importante relacionar as características da madeira com as necessidades do produto. Qualidade da madeira é a adequação desta para um determinado propósito (BIERMANN, 1996).

MIMMS (1993) afirma que os parâmetros químicos, físicos e anatômicos da madeira são essenciais para a produção de celulose e papel, pois cada um destes pode influenciar os processos positivamente ou negativamente.

SJÖSTRÖM e ALÉN (1999) mostram que existe uma grande variação dos componentes químicos do tronco de uma árvore, principalmente no sentido radial (lenho inicial x lenho tardio e cerne x alborno) bem como entre lenho normal e lenho de reação, e que os estudos sobre estas composições estão restritos a poucas espécies.

KLOCK *et al.* (2006) indicam como principais componentes químicos da madeira elementos de alto peso molecular como a celulose, as polioses e a lignina. Também pequenas quantidades de material de baixo peso molecular, os extrativos e minerais. A distribuição destes materiais varia de acordo com a TABELA 1.

TABELA 1 - COMPOSIÇÃO MÉDIA DE MADEIRAS DE CONÍFERA E FOLHOSAS

CONSTITUINTE	CONÍFERAS	FOLHOSAS
Celulose	42±2%	45±2%
Polioses	27±2%	30±2%
Lignina	28±2%	20±4%
Extrativos	5±3%	3±2%

Fonte: KLOCK et al.(2006)

Holocelulose é o termo usado para designar toda a fração de carboidrato do material celulósico depois de removida lignina.

KLOCK *et al.* (2006) definem a celulose como um polímero linear de alto peso molecular, constituído exclusivamente de β -D-glucose, e que devido às suas propriedades químicas e físicas, bem como à sua estrutura supra molecular, preenche sua função como o principal componente da parede celular dos vegetais.

Celulose é o principal constituinte da madeira. Aproximadamente 40 a 45% do material seco é composto dela na maioria das espécies, localizada predominantemente na parede secundária das células (SJÖSTRÖM, 1993).

As hemiceluloses, ou polioses, pertencem a um grupo heterogêneo de polissacarídeos que são formados por caminhos distintos ao da biossíntese da celulose. Em contraste com a celulose, que é homopolissacarídeo, as polioses, são heteropolissacarídeos, com grau de polimerização de aproximadamente 200. A quantidade de polioses está usualmente entre 20 e 30% do material seco da madeira, sendo a composição e estrutura diferentes nas coníferas e folhosas (SJÖSTRÖM, 1993).

Polioses estão em estreita associação com a celulose na parede celular. Cinco açúcares neutros, as hexoses : glucoses, manose e galactose; e as pentoses : xilose e arabinose, são os principais constituintes das polioses. Algumas polioses contêm adicionalmente ácidos urônicos. As cadeias moleculares são muito mais

curtas que a de celulose, podendo existir grupos laterais e ramificações em alguns casos (KLOCK *et al.*, 2006).

A lignina é formada por um sistema aromático composto em sua base por unidades de fenil-propano (BIERMANN, 1996). É uma substância amorfa que se localiza principalmente na lamela média e na parede primária. Na formação das células, a lignina é incorporada como o último componente na parede, transpondo as fibrilas e assim fortalecendo e enrijecendo as paredes celulares (IPT, 1981)

A quantidade de lignina é importante para análise da madeira e para a caracterização de polpas celulósicas. Sua remoção é o principal objetivo dos processos de obtenção de polpa celulósica e do branqueamento. Coníferas apresentam maiores teores de lignina que folhosas, e existem diferenças estruturais entre a lignina encontrada nos dois grupos. Rendimento, branqueabilidade e alvura são propriedades da polpa celulósica que refletem a presença da lignina (MIMMS, 1993; KLOCK *et al.*, 2006).

Complementando a composição da parede celular existem numerosas substâncias que são chamadas de materiais acidentais ou estranhos da madeira. Estes materiais são responsáveis muitas vezes por propriedades da madeira como: cheiro, gosto, cor, etc. Apesar destes componentes contribuírem somente com uma pequena porcentagem da massa da madeira, podem apresentar uma grande influência nas propriedades e na qualidade de processamento delas. Alguns componentes, tais como os íons de certos metais, são mesmo essenciais para a árvore viva (KLOCK *et al.*, 2006).

As substâncias de baixo peso molecular pertencem a classes muito diferentes em termos de composição química e portanto há dificuldades em se encontrar um sistema claro e compreensivo de classificação. Uma classificação simples pode ser feita dividindo-se estas substâncias em material orgânico e inorgânico. Para efeito de análise é mais útil a distinção entre as substâncias na base de suas solubilidades em água e solventes orgânicos (KLOCK *et al.*, 2006).

BARRICHELO e BRITO (1985) afirmam que os extrativos são componentes acidentais que não fazem parte da estrutura química da parede celular. Incluem um elevado número de compostos orgânicos, sendo que a maioria são solúveis em água quente, álcool, benzeno e outros solventes orgânicos neutros. A presença de alguns desses componentes influencia a resistência ao ataque de fungos e insetos,

a coloração, o odor, a permeabilidade, a densidade e a dureza da madeira. Podem constituir até 8% do peso seco de madeiras normais de espécies de clima temperado, podendo chegar a até 20% em madeiras normais de espécies de clima tropical (PETTERSEN, 1984).

A parte inorgânica da madeira é em geral chamada de cinzas. A quantidade de componentes minerais da madeira é normalmente pequeno, composto principalmente por óxidos minerais como: óxidos de cálcio, de magnésio, de fósforo, de silício, de potássio, dentre outros. O conteúdo de cinzas raramente é menor que 0,2% ou maior que 1% do peso seco das madeiras. Para a madeira de Eucalipto, o teor de cinzas normalmente não chega a 1% do seu peso seco (TSOUMIS, 1991).

ANDRADE (2006) considera muito importante a avaliação das características anatômicas das fibras, que se mostram em estreita associação com a qualidade da polpa e as características do papel.

OLIVEIRA *et al.* (1981), ressaltam que as diferenças anatômicas entre as fibras de angiospermas e gimnospermas acarretam em diferenças de propriedades físicas e mecânicas do papel. As fibras curtas, como do Eucalipto, geram papéis com melhor formação e maior lisura, mas, baixa resistência ao rasgo. A presença de vasos pode prejudicar a qualidade de impressão neste papel. Já as fibras longas, como a de Pinus, produzem papéis com melhor resistência mecânica, e de folha úmida. Além dos aspectos técnicos e econômicos, as características anatômicas das madeiras de coníferas e folhosas incentivam a utilização de misturas de fibras longas e curtas na produção de papel, visando atender às exigências do mercado consumidor.

BURGER e RICHTER (1991) mostram as diferenças entre lenhos inicial (ou primaveril) e tardio (ou outonal) nos anéis de crescimento, que se caracterizam por diferenças dimensionais principalmente na espessura da parede celular e tamanho do lume. O lenho inicial tem paredes mais finas e lume maior. KLOCK (2000) mostra a diferença dimensional entre lenho juvenil e adulto, presentes na madeira, característica da fase de crescimento nos primeiros anos e na fase de plenitude da árvore, em seu estudo com Pinus. BIERMANN (1996) afirma que as dimensões das fibras e traqueóides variam consideravelmente nas diferentes regiões de uma mesma árvore. Diferentes características de matéria prima geram papéis com propriedades variadas.

O comprimento médio das fibras afeta a formação da folha de papel e a uniformidade da distribuição, afirma YUNG (1980). A uniformidade e estabilidade dimensional será maior quanto mais curtas forem as fibras.

As propriedades mecânicas também são afetadas, por exemplo, a resistência ao rasgo decresce com a diminuição das dimensões médias das fibras.

Segundo diversos autores (BARRICHELO e BRITO, 1976; MIMMS, 1993; BIERMANN, 1996), em comparação ao lenho adulto, o juvenil apresenta comprimento inferior das fibras, paredes mais estreitas, maior porcentagem de lenho primaveril, conseqüentemente menor proporção de lenho outonal, densidade básica inferior, menor conteúdo de holocelulose, maior conteúdo de lignina e anéis de crescimento mais largos.

Existem variações nas médias das dimensões das fibras ao longo de toda a árvore, radial e longitudinalmente. Por exemplo, KLOCK *et al.* (2002) encontraram variação no sentido radial nas dimensões dos traqueóides, de 2,35 mm a 3,44 mm para o comprimento, 37,6 μm a 43,9 μm para a largura e 3,89 μm a 9,17 μm para a espessura de parede, em madeira juvenil em *Pinus taeda*.

Por estas diferenças, cavacos provenientes de árvores jovens quando processados para a produção de polpa celulósica e papel não apresentam as mesmas características quando comparados com cavacos obtidos de árvores adultas. Também apresentam menor teor de celulose e maior de lignina (MIMMS, 1993).

Nesta perspectiva os valores dos índices relacionados às fibras, como coeficiente de flexibilidade, esbeltez, enfeltramento, índice de Runkel, entre outros, dependem do percentual de cada tipo de lenho que compõe a amostra ou a matéria prima no processo.

A densidade da madeira aparece muitas vezes como referência de qualidade, sendo o primeiro item na caracterização e um importante fator de decisão para a sua utilização. A densidade básica é definida como a razão da massa completamente seca dividida pelo volume em estado saturado de uma amostra (STAMM, 1964; KOLLMANN e COTÉ, 1968; BIERMANN, 1996). A ABNT normaliza sua determinação na NBR 11941.

MIMMS (1993) afirma que a influência da densidade reflete no rendimento volumétrico do processo, penetração do licor de cozimento, tempo de cozimento e qualidade da polpa celulósica e do papel produzido.

Normalmente as folhosas são mais densas que as coníferas. Com o aumento da densidade, dentro de uma mesma espécie vegetal, geralmente aumenta a espessura da parede celular, diminuem as resistências à tração e arrebetamento e aumenta a resistência ao rasgo (DINWOODIE, 1965).

KOLLMANN e COTÉ (1968) e também BIERMANN (1996) definem a umidade como a quantidade de água presente em uma amostra em relação à sua massa. BIERMANN (1996) mostra a importância do controle de umidade nos processos de obtenção de polpa celulósica, pois, muitas vezes, os reagentes utilizados são calculados baseado na massa da matéria-prima, que obviamente pode variar com a quantidade de água que contém.

2.4 POLPAÇÃO

Na produção da polpa celulósica existem dois principais processos de obtenção, o mecânico e o químico, e também diversos processos híbridos que combinam ambos em graus diferentes. O que os diferencia é o rendimento, grau de deslignificação, consumo de energia térmica, mecânica e de produtos químicos (SMOOK, 1992).

Nos processos químicos, a separação ou individualização das fibras é obtida através da ação de reagentes químicos sobre a lignina que compõe a lamela média. Apesar de agir seletivamente os reagentes químicos acabam degradando uma fração da holocelulose, reduzindo o rendimento e afetando as características da polpa celulósica (MIMMS, 1993; KLOCK, 2000).

O processo de polpação química pode ser ácido, como no processo sulfito, ou alcalino como no processo sulfato ou kraft. Atualmente quase toda polpa química é obtida a partir de madeira e pelo processo kraft. Este processo utiliza o hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na₂S) como reagentes químicos. O processo kraft é caracterizado pela possibilidade de poder utilizar diversas matérias-primas no processo como coníferas, folhosas, resíduos agrícolas, etc., também pelas

excelentes características da polpa obtida em termos de resistência e a viabilidade de recuperação econômica do licor negro residual (IPT, 1982; MIMMS, 1993).

Para caracterizar a polpa celulósica alguns dos métodos mais comuns são: análise dimensional das fibras, número kappa, viscosidade e drenabilidade da polpa. Outros podem ser necessários, dependendo da especificidade da aplicação da polpa, segundo SMOOK (1992).

Classicamente as dimensões médias das fibras são determinadas com o auxílio de um microscópio ótico, examinando uma porção representativa da amostra, onde todas as fibras são medidas de forma a gerar uma curva de distribuição das dimensões encontradas, sendo as médias obtidas estatisticamente (SMOOK, 1992).

O número kappa está relacionado ao consumo de permanganato de potássio (KMnO_4) pela polpa seca amostrada, em meio ácido (H_2SO_4), nas condições da norma T 236 om-99, da TAPPI.

O número kappa é proporcional à lignina Klason, até um nível de 22% de lignina em coníferas e até 15% de lignina em folhosas (IPT, 1982). A relação aproximada é de: número kappa $\times 0,13 =$ % de lignina Klason, segundo a norma TAPPI T 236 om-99.

SMOOK (1992) afirma que o número kappa tem dois propósitos no processo fabril: indicar o grau de deslignificação no processo de cozimento e indicar as necessidades de reagentes químicos para o futuro branqueamento.

SCOTT *et al.* (1995) afirmam que a resistência intrínseca das fibras afeta todas as propriedades mecânicas do papel. Indiretamente esta resistência pode ser medida pela viscosidade da fibra dissolvida, que reflete o grau de despolimerização, ou degradação, sofrido durante o processo de polpação química.

D'ALMEIDA (1986) diz que a viscosidade de uma polpa celulósica, sendo uma medida do grau de polimerização médio das moléculas de celulose das fibras, pode ser também um indicativo da resistência intrínseca destas, em certo grau.

A resistência das fibras, quando conformadas em folha, ao fluxo de água através delas é definição de drenabilidade, importante propriedade relacionada à fabricação do papel. O teste de Shopper-Riegler é o principal ensaio de drenabilidade usada na Europa e o Canadian Standard Freeness na América do Norte (STAMM, 1964; SMOOK, 1992).

Refinação é um processo onde a polpa celulósica é tratada mecanicamente em equipamentos chamados refinadores visando o desenvolvimento de determinadas características (KLINE, 1991; ABTCP 2001). No processo de refinação ocorrem modificações nas propriedades da polpa, como: aumento da sua flexibilidade, redução da sua dimensão e a fibrilação. A refinação produz fibrilação interna, externa e corte das fibras que acarretam o aumento do número e das áreas de ligações entre fibras segundo NEVELL E ZERONIAN (1985).

BIERMANN (1996) e ABTCP (1999) afirmam que a fibrilação pode ocorrer em três níveis: externa, interna e molecular. A externa consiste no desprendimento total ou parcial da parede primária e secundária, liberando finos lamelares e fibrilares, aumentando a superfície de contato. A interna consiste em cisões internas à parede celular, ditas delaminações, e sua conseqüente hidratação. A molecular é definida como a solubilização ou rearranjo parcial de compostos da parede celular, principalmente de polioses. O aumento da refinação implica na diminuição da drenabilidade da polpa celulósica e melhoria de algumas propriedades do papel, entre elas a tração, estouro e rigidez. A resistência ao rasgo após um ligeiro aumento decresce. Outras propriedades como alvura e opacidade também são afetadas. As principais variáveis que afetam o processo de refinação são referentes ao tipo da matéria-prima, ao tipo de equipamento e às condições do processo como o pH, a temperatura e a consistência.

2.5 PROPRIEDADES DO PAPEL

BIERMANN (1996) mostra que qualquer processo de fabricação de papel passa pelas mesmas etapas. São elas: formação, que consiste na aplicação da polpa celulósica sobre uma tela; drenagem, que é a remoção inicial da água através de escoamento por gravidade ou uma diferença de pressão; consolidação, resultado da compactação do colchão de polpa celulósica e secagem, através da remoção da água pelo contato com superfícies aquecidas.

ANNIKKI *et al.* (1990) afirmam que na produção da folha de papel, as principais diferenças entre as feitas em laboratório e a produção de papel em larga escala estão na formação na mesa plana, prensagem a úmido e secagem. No laboratório, a folha é formada com base em uma suspensão muito diluída, usando

procedimento de desaguamento lento e de baixa pressão e apenas no sentido vertical, sem o movimento horizontal da mesa formadora, seguido por uma secagem lenta. A estrutura da folha feita em laboratório não será igual à produzida por uma máquina de papel, sem considerar, ainda, a calandragem em máquina que fornece diferentes características superficiais à folha de papel.

SCOTT *et al.* (1995) apresentam como características estruturais do papel: espessura, gramatura, a uniformidade e o lado da formação, orientação das fibras, densidade aparente, porosidade e a textura. Algumas podem ser observadas ou medidas diretamente sobre a folha, já outras, precisam ser testadas.

Testes permitem verificar propriedades e podem ser convenientemente divididos em quatro grupos: submissão a esforços, qualidade da superfície, propriedades óticas e permeabilidade a fluidos (SMOOK, 1992).

Para SCOTT *et al.* (1995) a espessura de uma folha é um dos principais fatores para definir a sua aplicação. É definida como a distância entre as duas principais superfícies do papel, medida sob pressão constante (50 ± 2 kPa) e expressa em milímetros. Espessuras podem variar de 0,0076 mm (para capacitores) a 2 mm (para papelão). Para alguns papéis a uniformidade de espessura ao longo da folha é ainda mais importante. A umidade da folha pode interferir nos resultados, sendo importante o seu prévio acondicionamento.

A gramatura é definida como peso dividido pela área da folha, normalmente expressa em g/m^2 , juntamente com o peso da folha são as mais importantes características tanto do ponto de vista da fabricação como do uso do papel. A gramatura exerce grande influência sobre as propriedades de resistência do papel e para reduzi-la, sobre os valores observados, estes são expressos na forma de índices. O valor da resistência é dividido pela gramatura gerando assim índices como os de resistência ao rasgo, ao arrebitamento à tração e de comprimento de auto-ruptura (IPT, 1982; SMOOK, 1992; SCOTT *et al.*, 1995; BIERMANN, 1996).

A densidade aparente é definida como o quociente entre a gramatura e a espessura do papel e é expressa em gramas por centímetro cúbico (g/cm^3). O volume aparente se apresenta como a razão entre a espessura e a gramatura do papel e é expresso em centímetros cúbicos por grama (cm^3/g). Algumas pesquisas indicam que a resistência à tração e ao arrebitamento crescem com o aumento da

densidade aparente do papel. A resistência ao rasgo, a opacidade e a permeância ao ar, decrescem com o aumento dela (SCOTT *et al.*, 1995).

Alvura e opacidade são características óticas de descrição do papel. A alvura é definida como fator de refletância de um comprimento de onda de 457 nm (luz azul), desta forma a alvura depende das condições de iluminação e observação. A medição da alvura visa avaliar a eficiência do branqueamento na remoção da amarelidade da polpa. Opacidade é a propriedade do papel relacionada com a quantidade de luz transmitida através dele. Assim um papel perfeitamente opaco não permite a passagem de luz visível. A opacidade de uma folha depende da quantidade de material de enchimento, grau de branqueamento, recobrimento, gramatura e espessura do papel. A opacidade é uma propriedade essencial para papéis de impressão e de escrever (IPT, 1982).

Os ensaios mecânicos permitem a observação de propriedades a partir das reações a esforços a que são submetidas as folhas de papel. Segundo STAMM (1964), as ligações entre fibras geram a coesão interna do papel. As interações mecânicas entre as fibras durante a fabricação e uso do papel se dá por meio das ligações entre elas, notadamente através de ligações de hidrogênio e entrelaçamento físico. Os ensaios mecânicos em geral são destrutivos, em relação aos corpos-de-prova.

Diversas pesquisas relacionam as propriedades mecânicas do papel ao comportamento deste sob o esforço de tração. Resistência à tração é freqüentemente reconhecida como uma propriedade fundamental na indústria do papel. Observando atentamente, ela se revela uma propriedade complexa, envolvendo forças de tração, cisalhamento e flexão agindo internamente sobre as fibras (SCOTT *et al.*, 1995).

A resistência à tração é determinada pela relação entre a força axial, requerida para romper uma tira de papel, e a sua largura, normalmente determinada por uma norma (SMOOK, 1992).

O comprimento de auto-ruptura também é uma forma de expressar a resistência à tração, definido como o comprimento de uma tira de papel que, quando suspensa se rompe sob seu próprio peso. Pode ser calculado pelo produto da carga de ruptura em kgf vezes 10^6 dividido pelo produto da gramatura em g/m^2 pela largura da tira em mm (IPT, 1982).

O ensaio mais freqüentemente encontrado para avaliar a resistência ao rasgo é o Elmendorf, criado em 1920 e que até hoje usa um equipamento com características definidas pelo inventor que dá nome ao teste. Mede o trabalho mecânico requerido para continuar um rasgo, já iniciado, até uma distância pré-determinada (SCOTT *et al.*, 1995).

Dois fatores determinam a resistência ao rasgo: a força necessária para arrancar a fibra da estrutura e a força para romper a própria fibra. Isto torna essa propriedade diretamente correlacionada ao comprimento médio das fibras (BUGAJER e KUAN, 1980).

O ensaio de resistência ao rasgo é usado na avaliação de sacos de papel, etiquetas, papéis para fins higiênicos e certos papéis que na utilização são submetidos à força de rasgamento (IPT, 1982).

A resistência ao rasgo, pelo teste Elmendorf, não varia proporcionalmente com a resistência à tração ou arrebatamento, sendo uma função do grau de refino das fibras, que aumenta inicialmente até atingir o máximo valor, decaindo em seguida à medida que aumenta o refino. A resistência à tração, e ao arrebatamento, tendem a apenas aumentar com o aumento do grau de refino, até certo limite (SCOTT *et al.*, 1995).

A resistência ao arrebatamento, também conhecida por estouro, é testada por um aparelho que prende o corpo-de-prova entre dois anéis e submete o seu interior à pressão por um dos lados criando uma deformação aproximadamente esférica até a ruptura. A resistência ao arrebatamento e à tração são altamente correlacionadas, permitindo que algumas empresas prefiram o teste de arrebatamento pela sua simplicidade. É realizado com o aparelho tipo Mullen que data dos anos 1890 (SCOTT *et al.*, 1995).

A permeância ao ar, classificada neste trabalho como propriedade mecânica, é definida submetendo-se o papel à passagem do ar, pela diferença de pressão entre os dois lados, sendo medida pelo tempo que determinado volume leva para atravessar a folha (SCOTT *et al.*, 1995).

A permeância tem relação inversa com o coeficiente de flexibilidade das fibras e parede celular, porém, direta com o diâmetro das fibras e a densidade da madeira. Tais comparações devem ser feitas entre fibras da mesma espécie (DINWOODIE, 1965).

SMOOK (1992) apresenta alguns cuidados e parâmetros a serem observados nos ensaios das propriedades do papel, mostrados a seguir:

Todo procedimento de teste é caracterizado pela perceptividade (ou nitidez da leitura do aparelho), precisão e acurácia. Ou seja, toda medição tem uma capacidade limitada de perceber e mostrar uma pequena variação na propriedade avaliada, exibe alguma variação nos resultados quando o teste é repetido (nas exatas mesmas condições) e apresenta uma certa diferença entre o valor medido e o valor verdadeiro (ou real). A aproximação do valor medido ao valor real é obtida com a calibração do aparelho e escolha de uma amostra representativa, já a precisão do teste pode ser expressa com o uso da estatística em termos de desvio padrão ou intervalo de confiança.

Em testes padronizados, o número de amostras sugerido estão apresentados na TABELA 2.

TABELA 2 – NÚMERO DE REPETIÇÕES SUGERIDO PARA TESTES NORMATIZADOS

ENSAIO	TAPPI	SCAN	APPITA
Espessura (folhas)	10 (5)	5 (4)	10 (8)
Rasgo	4	2	4
Arrebentamento	10	8	8
Tração	10	8	8
Alongamento	10	8	8
Dobramento	5	5	16

Fonte: SMOOK, 1992. p331

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATERIAL

Os materiais utilizados no trabalho de pesquisa foram cavacos de madeira de *Eucalyptus dunnii* M., família *Myrtaceae*, de 10 anos de idade, de plantações com espaçamento de 2,5 x 3,0 m, proveniente do município de Mafra no estado de Santa Catarina, latitude 26° 04' 45" S e longitude 50° 09' 45" O, e de *Pinus taeda* L., família *Pinaceae*, de 16 anos de idade, de plantações com espaçamento de 2,5 x 2,5 m, proveniente do município de São Mateus do Sul, latitude 26° 03' 28" S e longitude 50° 22' 19" O, no estado do Paraná (FIGURA 1). Foram coletadas 5 amostras de 20 Kg verde, de cada espécie, da linha do picador de uma fábrica de celulose e papel do sul do Brasil, em cinco diferentes horários durante um dia do processo produtivo.

FIGURA 1 – MAPA DA REGIÃO SUL DO BRASIL



Fonte: <http://maps.google.com.br>, editado pelo autor.

Escala: 1 : 20.000.000

3.2 MÉTODOS

Os métodos descritos a seguir mostram o caminho percorrido para a caracterização da matéria prima, o processamento e distinção das propriedades das polpas, a preparação das folhas e finalmente os ensaios realizados.

3.2.1 QUALIDADE DA MATÉRIA PRIMA

O teor de umidade e a densidade básica das amostras de *Eucalyptus dunnii* e *Pinus taeda* foram determinados pela norma TAPPI T258 – om 02.

Para a caracterização química das amostras de madeira usadas para produzir a polpa celulósica foram utilizados cavacos úmidos para conversão em aproximadamente 50 gramas de serragem classificada, por meio de moinho do tipo facas. Foram determinados o teor de extrativos totais e o percentual de lignina presentes. Os ensaios foram realizados em triplicata e os procedimentos são descritos pelas normas indicadas na TABELA 3.

TABELA 3 – RELAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS UTILIZADOS NA CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA.

PROCEDIMENTOS	NORMAS
Preparação de Material para análise	T 264 cm-97
Teor de Lignina	T 222 om-02
Teor de Extrativos Totais	T 204 cm-97

Procedimentos da TAPPI, 2004-2005.

Os extrativos totais, foram obtidos mediante extrações consecutivas pela ação dos solventes etanol (C_2H_5OH), etanol-tolueno ($C_2H_5OH - C_6H_6OH$) e água quente (H_2O).

O teor de lignina insolúvel da madeira foi obtido após remoção dos extrativos e hidrólise dos polissacarídeos (conteúdo de holocelulose) utilizando ácido sulfúrico

concentrado a 72% (H₂SO₄) a frio e posterior redução da concentração a 3% a quente.

3.2.2 OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA POLPA CELULÓSICA

O processo kraft de polpação química para obtenção da pasta celulósica usado na confecção das folhas foi realizado em uma autoclave, capacidade de 20 litros com controle de temperatura e pressão. Foram utilizadas quatro cápsulas contendo 200 gramas de madeira seca, duas de Eucalipto e duas de Pinus a cada vez. As condições de cozimento: álcali ativo de 16%, sulfidez 24,93%, relação licor/madeira de 4:1 e fator H de 800. O tempo de aquecimento até os 170°C foi de 90 minutos, permanecendo aproximadamente por 40 minutos nesta temperatura.

Verificou-se o teor de álcali ativo residual seguindo-se os procedimentos da norma TAPPI T624 cm-00.

Após o cozimento, o material lavado foi processado por dez minutos em um desagregador tipo Bauer de discos ranhurados paralelos regulados a 2mm de distância.

Após a depuração, retirou-se o material que não passou pela malha *mesh* 35, secando-o em estufa, comparou-se o seu peso ao peso seco total de polpa obtida, determinando o percentual de rejeitos.

O rendimento médio foi calculado a partir do percentual obtido de polpa celulósica seca depurada em relação à quantidade de madeira seca usada no processo de polpação para cada um dos 60 cozimentos.

A pasta celulósica teve sua consistência elevada para aproximadamente 30% de material absolutamente seco, em uma centrífuga com cesto de 30 cm de diâmetro e 3000 r.p.m. por 5 minutos. Em seguida foi acondicionada em sacos plásticos, com sua umidade medida posteriormente pelo método gravimétrico.

Todos os cozimentos foram testados no seu número kappa de acordo com a norma TAPPI T236 om-99.

A verificação da viscosidade intrínseca em solução de cuproetilenodiamina (CED) seguiu a norma TAPPI T230 om-99. As análises foram realizadas em triplicata em um tratamento de cada uma das cinco amostras, cujo cozimento atingiu valor de número kappa mais próximo da média de todos os cozimentos da espécie.

As dimensões das fibras, tiveram sua média determinada a partir da mensuração de 50 fibras em 10 lâminas, classificadas segundo as recomendações de MUÑIZ e CORADIN (1991). Foram determinadas as seguintes características: comprimento da fibra (l) em mm, largura da fibra (D), diâmetro do lume (d) e espessura da parede celular (e) em μm .

Para iniciar o processo de refinação reuniu-se 20 gramas (peso seco) de cada um dos 30 cozimentos de Eucalipto em água no desfibrador Bauer com os discos abertos. Após a homogeneização da mistura, efetuou-se a retirada da água por centrifugação, seu posterior acondicionamento em saco plástico e determinação do teor de umidade. Tal procedimento foi repetido para as amostras de polpa celulósica de Pinus, formando assim duas bases homogêneas para a seqüência do experimento.

Optou-se pelo refino separado das bases de Eucalipto e Pinus, antes da mistura, visando um grau de refinação Shopper Riegler de 25. O Eucalipto foi processado em painéis de 16 em 16 gramas seco, na consistência de 6%, por 22 minutos a 150 r.p.m.. O Pinus também de 16 em 16 gramas seco, a 6%, mas por 60 minutos a 150 r.p.m.. Para o tratamento mecânico das fibras usou-se o moinho centrífugo tipo Jokro.

O grau de refinação Shopper Riegler determinado para as polpas de Eucalipto e Pinus, antes do refino, foi de 17 e 14 respectivamente. Atingido o objetivo do grau de refinação 25 para ambas as espécies, elevou-se a consistência da polpa para valores em torno de 30%, por centrifugação. Após o acondicionamento, verificou-se novamente o percentual de umidade do material processado para permitir a composição final considerando o peso seco.

3.2.3 PREPARAÇÃO DAS COMPOSIÇÕES E ELABORAÇÃO DAS FOLHAS

A partir do valor do percentual absolutamente seco das amostras de Eucalipto e Pinus, refinadas, foi determinado o peso úmido das frações de amostras que formariam as 11 composições de fibras, que seriam usadas para formar as folhas de papéis a serem testadas, em suas propriedades.

Foram produzidas 21 folhas por composição, para cada variação de 10%. A gramatura pretendida foi de 70 g/m^2 sendo 2 gramas de material seco por folha em

uma área circular de 0,03142 m² e consistência aproximada de formação de 0,02%, ou 2 gramas a cada 10 litros.

Para cada conjunto de oito possíveis folhas uma foi usada para teste do grau Shopper Riegler.

Na confecção das folhas foi utilizado um formador tipo Rapid-Köethen (Norma ISO 5269/2), formando folhas de 200 mm de diâmetro.

3.2.4 ENSAIOS DAS FOLHAS

As folhas foram avaliadas, após acondicionamento a 23°C ($\pm 2^\circ\text{C}$) e 50% ($\pm 2\%$) de umidade relativa do ar segundo a norma TAPPI T402 om-94, nas seguintes propriedades: espessura, gramatura, alvura, opacidade, tração, rasgo, arrebatamento e permeância ao ar, obedecendo as recomendações das normas relacionadas na TABELA 4.

TABELA 4 - RELAÇÃO DAS NORMAS USADAS PARA ENSAIO DAS FOLHAS.

ENSAIO	NORMA TAPPI
Espessura	T220 sp-01
Gramatura	T220 sp-01
Alvura	T452 om-02
Opacidade	T429 om-01
Tração	T494 om-01
Rasgo	T414 om-98
Arrebatamento	T403 om-02
Permeância ao ar	T 460 om-02

A espessura média foi determinada pelas medidas em três posições por folha. A gramatura, determinada com a medida da área das folhas e pesagem em balança analítica de precisão 0,0001 g.

A alvura e a opacidade foram determinadas em um equipamento de fabricação Regmed modelo OP/AL-73, em três medidas por folha.

Os ensaios de tração foram realizados em equipamento Regmed modelo RE/AV-30.

A verificação da resistência ao rasgo foi realizada em um aparelho Elmendorf.

A resistência ao arrebentamento é expressa em quilopascal (kPa) e seu índice calculado pela relação entre a resistência ao arrebentamento pela gramatura expresso em $\text{kPa}\cdot\text{m}^2/\text{g}$. Para o ensaio foi utilizado o equipamento tipo Mullen.

A permeância ao ar foi testada em densímetro tipo Gurley fabricado pela Regmed modelo PGH-T, em três leituras por folha, expressa em $\text{s}/100\text{ml}$.

3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O delineamento experimental seguiu o modelo inteiramente casualizado. Considerou-se como unidade experimental a folha de papel, como tratamento as 11 variações na composição de fibra curta e longa e o número de repetições seguiu a sugestão da TABELA 2.

A análise estatística foi realizada em três etapas. Na geração e caracterização da polpa celulósica aplicou-se a estatística descritiva, ou seja, média, desvio padrão, coeficiente de variação entre outros, apresentado no APÊNDICE 1.

Nos ensaios de propriedades físicas e mecânicas das folhas, fez-se também a verificação da igualdade estatística entre as médias obtidas nos corpos de prova (ANOVA), por ensaio e em cada tratamento, mostrado no APÊNDICE 2.

Finalmente efetuou-se a verificação das diferenças entre as médias de cada tratamento, pelo teste de Tukey (APÊNDICE 3), por propriedade, geração dos gráficos de variação, obtenção das equações por análise de regressão e seus coeficientes de determinação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir são apresentados os resultados de caracterização da madeira, os rendimentos e condições do licor negro, caracterização da polpa produzida e finalmente os ensaios que demonstram as variações das propriedades das folhas em função da composição percentual da mistura de fibras.

4.1 CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA.

Os valores obtidos para, extrativos totais e lignina, das madeiras usadas na pesquisa podem ser verificados na TABELA 5. Resultados compatíveis aos relatados por PEREIRA *et al.*, (2000) e MENDES *et al.* (2002) que confirmam o maior teor de lignina da conífera. Isto afetará diretamente o processo de polpação, que submete as duas espécies às mesmas condições de cozimento, neste estudo, resultando em teor superior de lignina residual na polpa de Pinus.

TABELA 5 – CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO EUCALIPTO E PINUS.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS	<i>Pinus taeda</i>	<i>Eucalyptus dunnii</i>
Extrativos totais	2,54%	1,14%
Lignina	25,59%	21,08%

As densidades médias encontradas para as amostras de *Eucalyptus dunnii* e *Pinus taeda* estão apresentadas na TABELA 6.

TABELA 6 – DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA DE EUCALIPTO E PINUS.

ESPÉCIE	DENSIDADE BÁSICA (kg/m ³)
<i>Eucalyptus dunnii</i>	436,6
<i>Pinus taeda</i>	344,9

Comparativamente observam-se os valores de densidade encontrados por BARRICHELO e BRITO (1976) de 486 kg/m^3 e PEREIRA *et al.* (2000) com 447 kg/m^3 para *Eucalyptus dunnii*. SANTINI *et al.* (2000) apresentam 410 kg/m^3 e RIGATTO *et al.* (2004) valores de 373 a 394 kg/m^3 para *Pinus taeda*, compatíveis com os valores encontrados.

4.2 CARACTERÍSTICAS RESIDUAIS DO COZIMENTO

Na caracterização do licor negro logo após a saída do digestor foram encontrados os seguintes valores: álcali ativo residual de 11 (± 1) g/l, correspondendo a 7,5% do início do processo e Sulfidez de 50% ($\pm 4\%$). Teor médio de sólidos contidos no licor negro de 167,6 g/l. e pH de 12,4.

Rejeito total médio após a depuração para o Eucalipto de 0,38% e para o Pinus de 1,05%.

O rendimento médio observado para o Eucalipto foi de 51,9% e para o Pinus de 50,3%. Os valores são próximos aos encontrados por ANDRADE (2006), BASSA (2006), BITTENCOURT (2004) e OLIVEIRA *et al.* (1981).

4.3 CARACTERÍSTICAS DA POLPA

O número kappa verificado resultou nos valores médios de 13,4 correspondendo a 1,74% de lignina residual para o *Eucalyptus dunnii* e 52,4, correspondendo a 6,81% de lignina residual para o *Pinus taeda*.

Os valores médios obtidos para a viscosidade por amostra estão na TABELA 7. A viscosidade média obtida para o *Eucalyptus dunnii* foi de 23,9 mPa.s e para o *Pinus taeda* de 32,4 mPa.s indicando um grau de despolimerização bem maior das fibras curtas, resultante do processo de polpação que nas mesmas condições apresenta-se menos drástico para as fibras longas. A maior degradação da polpa do *Eucalyptus dunnii* deve influenciar nos resultados dos ensaios de resistência onde ela aparece em quantidades maiores na composição das folhas, pois não deve assim contribuir com suas possíveis melhores propriedades. Os resultados são compatíveis aos de ANDRADE (2006) e BASSA (2006).

TABELA 7 – VISCOSIDADE DA POLPA DE EUCALIPTO E PINUS.

AMOSTRA	<i>Eucalyptus dunnii</i> (mPa.s)	<i>Pinus taeda</i> (mPa.s)
1	24,1	32,5
2	23,4	31,7
3	26,1	32,8
4	22,6	31,9
5	23,5	33,1
Média	23,9	32,4

Dimensões médias encontradas para as fibras, relações e índices são apresentados na TABELA 8. Os valores elevados de espessura de parede das fibras sugerem que a madeira utilizada possa ser considerada adulta, revelando fibras mais rígidas que dificultam o processo de refino e determinam a qualidade da resistência das folhas, nas condições deste estudo.

TABELA 8 – DIMENSÕES E ÍNDICES DAS FIBRAS DE EUCALIPTO E PINUS.

DIMENSÕES E ÍNDICES	<i>Pinus taeda</i>	<i>Eucalyptus dunnii</i>
Comprimento (mm)	2,98	0,95
Largura (μm)	36,4	13,2
Lume (μm)	15,4	5,5
Parede (μm)	10,5	3,9
Coefficiente de Flexibilidade % (CF)	42	42
Fração Parede % (FP)	58	58
Índice de Enfeltramento (IE)	81,8	71,8
Índice de Runkel (IR)	1,36	1,40

Sendo:

Coefficiente de flexibilidade (%): $CF = (d / D) \cdot 100$

Fração parede (%): $FP = (2 e / D) \cdot 100$

Índice de enfeltramento: $IE = l / D$

Índice de Runkel: $IR = 2 e / d$

FOELKEL e BARRICHELO (1975), encontraram valores de 0,97 e 2,93 mm para os comprimentos e 14,8 e 43,1 μm para a largura em *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea*.

O coeficiente de flexibilidade entre 0,30 e 0,50 reflete parede celular espessa e alguma dificuldade para o colapso no refino, a fração de parede entre 50 e 70

revela parede celular espessa e rígida e os índices de enfiamento e Runkel encontrados são considerados entre regular e bom para a confecção de papel (STAMM, 1964).

Os valores encontrados de dimensões e índices das fibras juntamente com o grau de refino e degradação indicam individualmente tendências favoráveis, ou não, à qualidade do papel formado, o resultado da somatória ponderada destas características determinará as propriedades do papel.

4.4 PROPRIEDADES FÍSICAS DAS FOLHAS

4.4.1 ESPESSURA

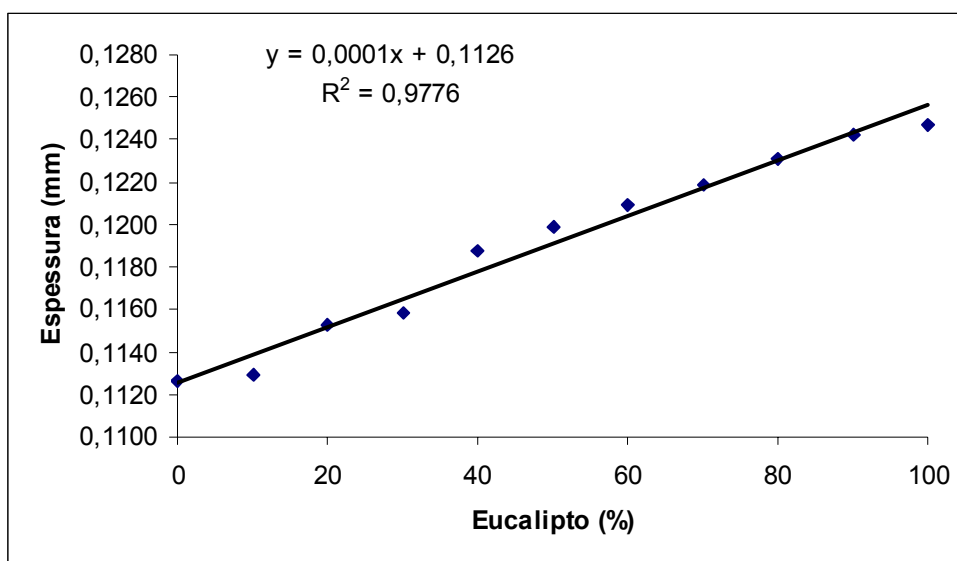
Os valores medidos para a espessura apresentaram uma variação linear crescente enquanto aumenta o percentual de Eucalipto na composição das folhas. Estes resultados confirmam os observados por BASSA (2006) em estudo com Eucaliptus e Pinus e se encontram na TABELA 9.

Graficamente podemos observar a variação da espessura em função do aumento do percentual de Eucalipto na composição das folhas na FIGURA 2.

A maior relação entre comprimento e largura das fibras de Pinus, comparada às fibras de Eucalipto favorece o maior número de ligações de hidrogênio no sentido x,y da folha, na matriz, para uma mesma gramatura. Opostamente, as fibras curtas formam, comparativamente, mais ligações no sentido z.

O aumento da espessura está correlacionado ao aumento da densidade da madeira e ao índice de Runkel confirmando as observações de DINWOODIE, 1965.

FIGURA 2 – VARIAÇÃO DA ESPESSURA EM FUNÇÃO DO PERCENTUAL DA MISTURA DE EUCALIPTO E PINUS NA FOLHA.



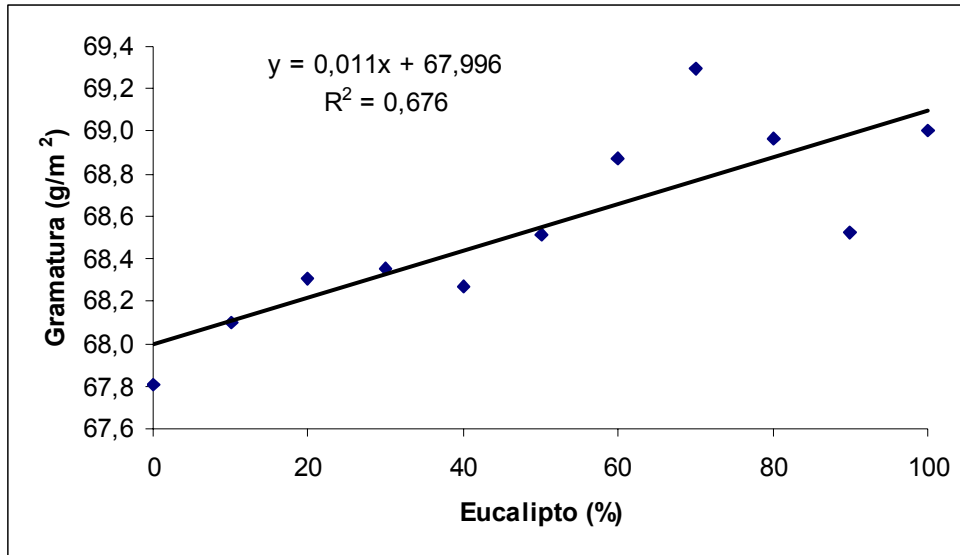
0% de Eucalipto corresponde a 100% de Pinus e 100% de Eucalipto a 0% de Pinus na mistura.

4.4.2 GRAMATURA

A gramatura sofreu um acréscimo constante e linear no aumento percentual de Eucalipto na composição. À medida que a fibra curta se mostrou com maior capacidade de retenção de água à temperatura de 23°C e umidade relativa do ar a 50%, isto se refletiu no maior peso final das folhas com percentual maior destas fibras, visto que o peso seco por folha é igual para todas as composições. Esta capacidade está relacionada ao grau de deslignificação da polpa. Os valores podem ser observados na TABELA 9.

O gráfico da FIGURA 3 mostra a tendência do aumento da gramatura à medida que aumenta a quantidade de Eucalipto na composição.

FIGURA 3 - VARIAÇÃO DA GRAMATURA EM FUNÇÃO DA MISTURA DE EUCALIPTO E PINUS NA FOLHA.



0% de Eucalipto corresponde a 100% de Pinus e 100% de Eucalipto a 0% de Pinus na mistura.

4.4.3 DENSIDADE E VOLUME APARENTES

A TABELA 9 e a FIGURA 4 mostram os valores encontrados para a densidade aparente entre 0,553 e 0,602 g/cm³. Os valores encontrados estão entre 1,66 a 1,80 cm³/g para a variação do volume aparente, que é mostrada na FIGURA 5. Os números são próximos aos verificados por ANDRADE (2006), estudando *Pinus taeda* e aos de BASSA (2006) estudando Eucaliptos em misturas.

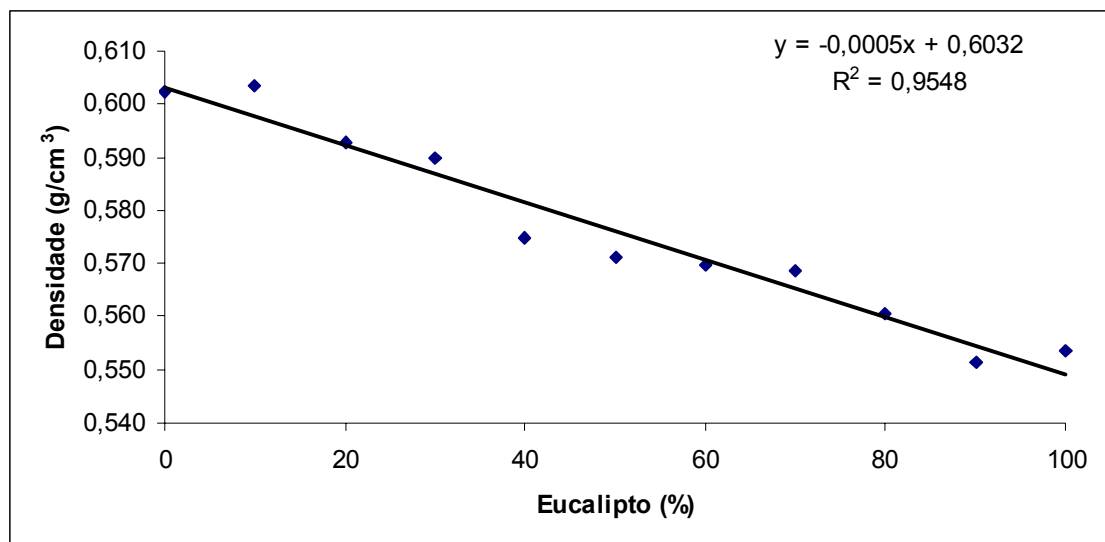
O volume aparente apresenta relação direta com a densidade da madeira, mostrando-se crescente à medida que a folha recebe maior quantidade de fibras de Eucalipto.

TABELA 9 – GRAMATURA, ESPESSURA, DENSIDADE E VOLUME APARENTE EM FUNÇÃO DO PERCENTUAL DE EUCALIPTO.

Eucalipto %	Gramatura média (g/m ²)	Espessura média (mm)	Densidade Aparente (g/cm ³)	Volume aparente (cm ³ /g)
0	67,81	0,1126 f	0,602	1,661
10	68,10	0,1129 f	0,603	1,658
20	68,31	0,1153 e	0,593	1,687
30	68,35	0,1159 e	0,590	1,695
40	68,27	0,1188 d	0,575	1,740
50	68,51	0,1199 cd	0,571	1,751
60	68,87	0,1209 bcd	0,570	1,756
70	69,30	0,1219 bc	0,569	1,759
80	68,97	0,1231 ab	0,560	1,784
90	68,52	0,1243 a	0,551	1,814
100	69,00	0,1247 a	0,553	1,807

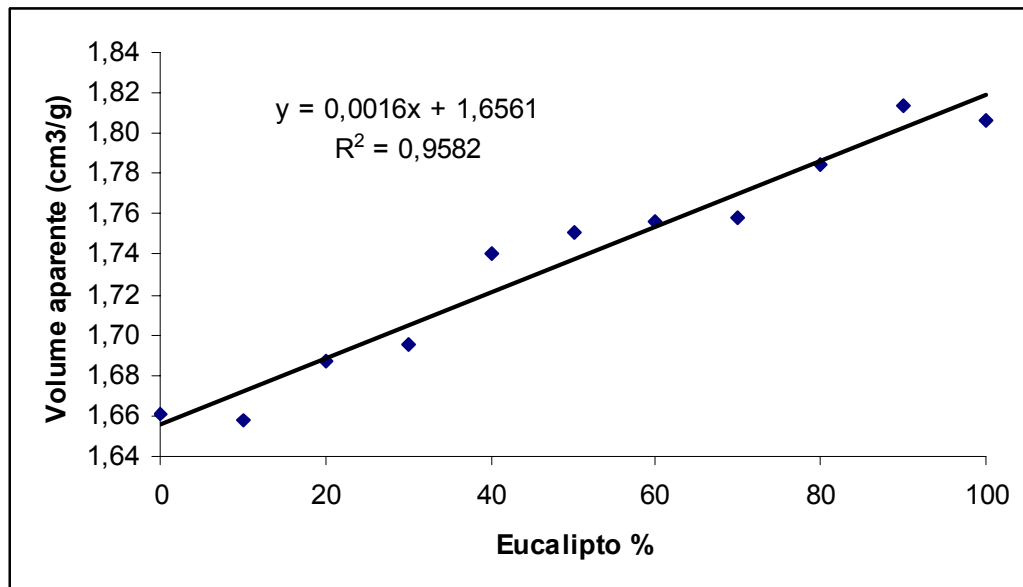
Obs.: letras ao lado do resultado referem-se à comparação de média pelo teste de Tukey

FIGURA 4 – VARIAÇÃO DA DENSIDADE APARENTE NA MISTURA DE EUCALIPTO E PINUS NA FOLHA.



0% de Eucalipto corresponde a 100% de Pinus e 100% de Eucalipto a 0% de Pinus na mistura.

FIGURA 5 – VARIAÇÃO DO VOLUME APARENTE NA MISTURA DE EUCALIPTO E PINUS NA FOLHA.

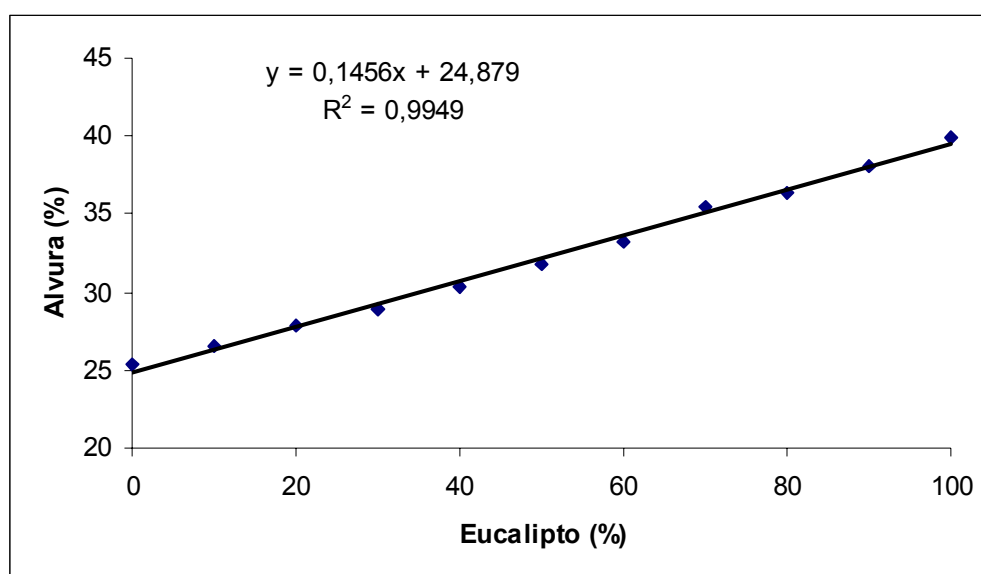


0% de Eucalipto corresponde a 100% de Pinus e 100% de Eucalipto a 0% de Pinus na mistura.

4.4.4 ALVURA

A Alvura sofreu um crescimento linear à medida que a mistura recebeu uma quantidade maior de Eucalipto (TABELA 10 e FIGURA 6). O acréscimo se deve ao menor número kappa obtido pela polpa de Eucalipto, em função das características do cozimento, que o colocaria em condições de possível processo de branqueamento. Este comportamento também foi observado por GARLET, ANDREOTTI e SACON (1991), em estudo sobre o comportamento de propriedades óticas, físicas e mecânicas de polpa kraft de Pinus e Eucalipto branqueadas. WILLER FERREIRA *et al.* (1997) encontraram valores de 41,20 a 43,53% para papel de *Eucalyptus dunnii*, para número kappa entre 15,8 e 18,4.

FIGURA 6 – VARIAÇÃO DA ALVURA NA MISTURA DE EUCALIPTO E PINUS NA FOLHA.



0% de Eucalipto corresponde a 100% de Pinus e 100% de Eucalipto a 0% de Pinus na mistura.

TABELA 10 – PERCENTUAL DE EUCALIPTO ALVURA E OPACIDADE

Eucalipto %	Alvura %	Opacidade %
0	25,4 h	91,6 e
10	26,5 gh	91,8 de
20	27,9 fgh	91,9 cde
30	28,9 fg	91,8 de
40	30,3 ef	91,9 cde
50	31,8 de	92,2 bcd
60	33,3 cd	92,5 ab
70	35,4 bc	92,4 ab
80	36,4 b	92,3 abc
90	38,1 ab	92,3 abc
100	39,9 a	92,6 a

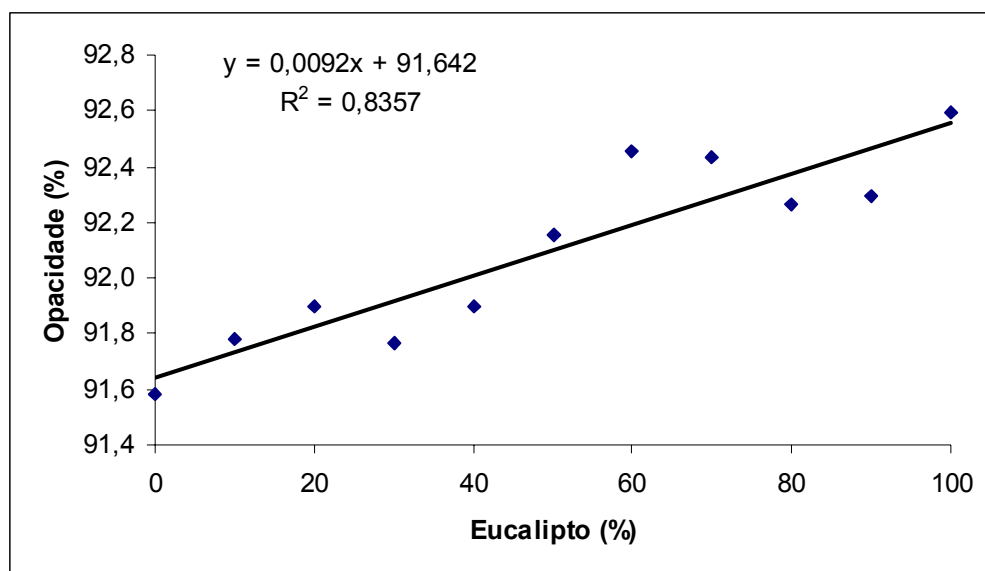
Obs.: letras ao lado do resultado referem-se à comparação de média pelo teste de Tukey

4.4.5 OPACIDADE

Os valores de variação da opacidade encontrados confirmam os obtidos por BASSA (2006), em misturas de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus globulus* com *Pinus taeda*, com a tendência de crescimento linear à medida que aumenta o percentual de Eucalipto na mistura, como mostram a TABELA 10 e a FIGURA 7.

A opacidade variou de 91,6% a 92,6% e está correlacionada ao volume aparente de forma direta, neste estudo.

FIGURA 7 – VARIÇÃO DA OPACIDADE NA MISTURA DE EUCALIPTO E PINUS NA FOLHA.



0% de Eucalipto corresponde a 100% de Pinus e 100% de Eucalipto a 0% de Pinus na mistura.

4.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS FOLHAS

4.5.1 TRAÇÃO

Os valores médios encontrados para os índices de tração variaram de 48,5 Nm/g a 57,9 Nm/g (TABELA 11). Estes valores foram próximos aos encontrados por NISGOSKI (2005), que observou valores de índice de tração entre 57,49 Nm/g e 95,04 Nm/g em seu estudo em *Pinus taeda* com idades variando entre 10 e 17 anos, também pouco superiores a BITTENCOURT (2004), que determinou valores para o índice de tração variando entre 46,3 Nm/g e 47,1 Nm/g estudando árvores de *Pinus taeda* com idade entre 10 e 20 anos. WILLER FERREIRA *et al.* (1997) encontraram índices de tração para o papel de *Eucalyptus dunnii* de 96 a 98 Nm/g para cozimento kraft-antraquinona, número kappa 17 e grau de refino de °SR 35.

Observa-se que a variação da resistência não é linear do maior valor para o menor (FIGURA 8), ao longo da mistura, mostrando um ganho até aproximadamente a adição de 20% de fibra curta e redução subsequente, nas condições deste experimento. Pode-se atribuir tal comportamento ao ganho proporcionado pela fibra curta à quantidade de ligações entre fibras até o limite próximo a 20%, após o qual a resistência oferecida pelas ligações entre as próprias fibras curtas e suas resistências intrínsecas, passam a influir gradativamente no resultado.

FOELKEL e BARRICHELO (1974), em estudo de mistura de *Araucaria angustifolia* e *Eucalyptus saligna* observaram melhoria nas propriedades de tração e arrebetamento até o limite de 30% de Eucalipto.

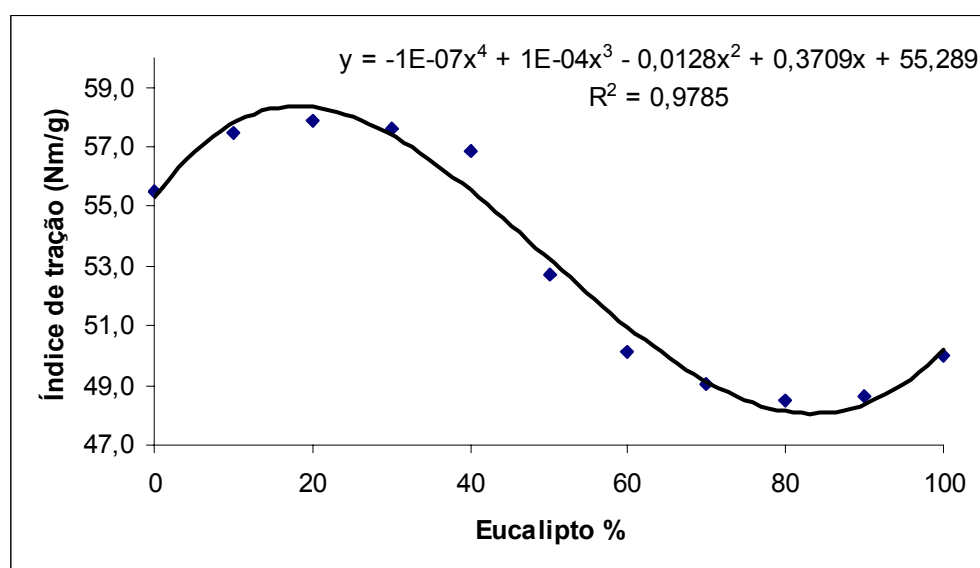
A resistência à tração tem forte relação positiva com os índices relacionados às fibras, tendendo a crescer com a diminuição do diâmetro, da parede celular e da densidade da madeira. Tais comparações devem ficar restritas em cada espécie, segundo DINWOODIE (1965).

TABELA 11 – PERCENTUAL DE EUCALIPTO, ÍNDICES DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO, RASGO, ARREBENTAMENTO E PERMEÂNCIA AO AR.

Eucalipto %	Índice de Tração (Nm/g)	Comprimento de auto-ruptura (km)	Índice de Rasgo (mNm ² /g)	Índice de Arrebentamento (kPam ² /g)	Permeância (s/100ml)
0	55,5 ab	5,66	16,48 a	4,11 ab	3,51 bc
10	57,5 a	5,86	16,22 a	4,46 a	4,39 a
20	57,9 a	5,90	15,62 ab	4,42 a	4,26 a
30	57,6 a	5,87	15,52 ab	4,34 a	4,01 ab
40	56,9 a	5,80	15,03 bc	4,19 ab	3,59 bc
50	52,7 abc	5,37	14,48 bcd	3,91 bc	3,24 cd
60	50,1 bc	5,11	14,26 cd	3,62 cd	3,03 cde
70	49,1 c	5,00	13,40 de	3,40 de	2,72 def
80	48,5 c	4,94	12,83 ef	3,31 de	2,58 ef
90	48,7 c	4,96	11,82 fg	3,19 e	2,17 f
100	50,0 bc	5,09	11,19 g	3,13 e	2,20 f

Obs.: letras ao lado do resultado referem-se à comparação de média pelo teste de Tukey

FIGURA 8 – VARIAÇÃO DO ÍNDICE DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA MISTURA DE EUCALIPTO E PINUS NA FOLHA.

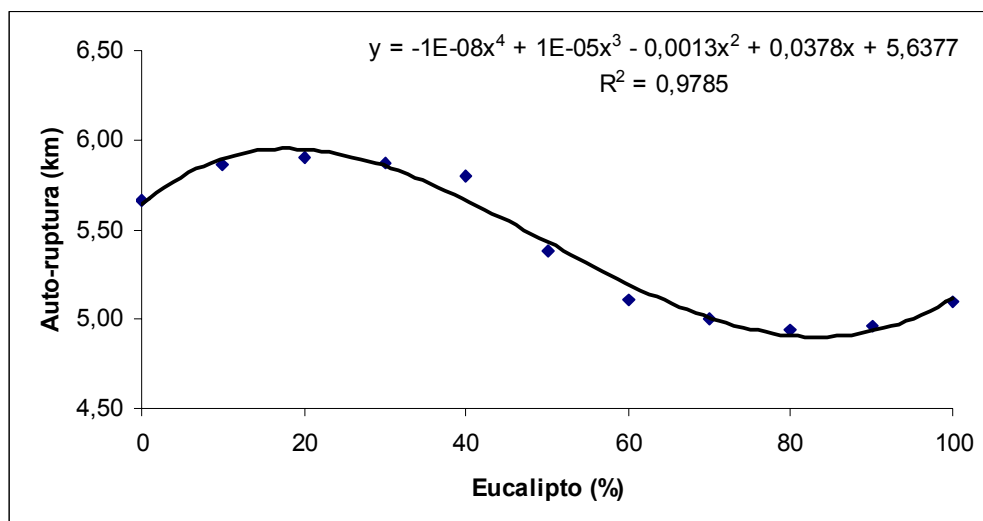


0% de Eucalipto corresponde a 100% de Pinus e 100% de Eucalipto a 0% de Pinus na mistura.

4.5.2 COMPRIMENTO DE AUTO-RUPTURA

Os valores para o comprimento de auto-ruptura variam entre 4,94 km e 5,90 km, vistos na TABELA 11 e FIGURA 9. Próximos aos encontrados por NISGOSKI (2005), que observou valores variando de 5,86 km a 9,69 km ao avaliar árvores de diversas idades de *Pinus taeda* plantadas na região de Três Barras no Estado de Santa Catarina, e também aos observados por KLOCK (2000), que determinou em seu estudo, valores de comprimento de auto-ruptura variando entre 3,63 km a 6,47 km, ao avaliar o papel formado com madeira juvenil de *Pinus taeda*. Os valores encontrados por BARRICHELO e FOELKEL (1976), mostraram-se superiores em seus estudos, de 5,3 a 8,8 km, na formação de papel à partir de *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus robusta*, *Eucalyptus viminalis*, *Eucalyptus decaisneana*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis* comparados ao papel com 100% de *Eucalyptus dunnii* aqui ensaiado.

FIGURA 9 – VARIAÇÃO DO COMPRIMENTO DE AUTO-RUPTURA NA MISTURA DE EUCALIPTO E PINUS NA FOLHA.



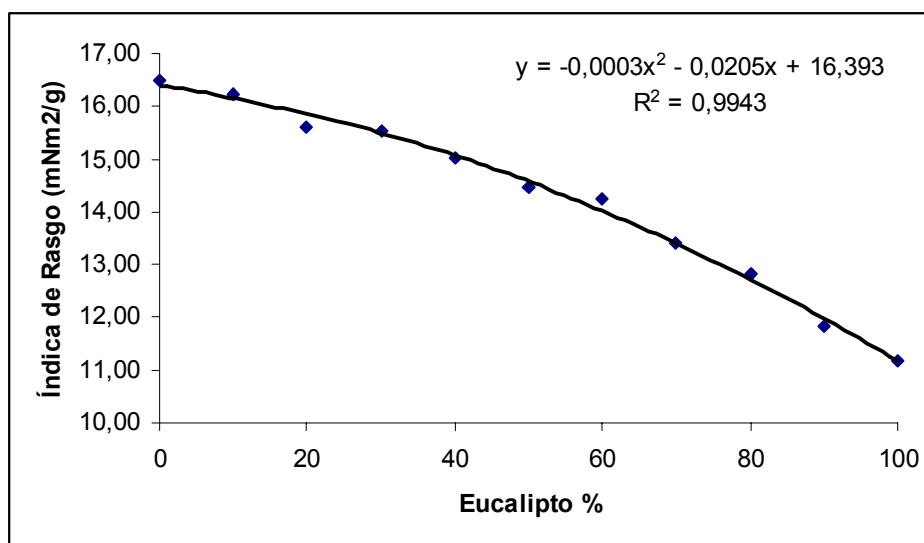
0% de Eucalipto corresponde a 100% de Pinus e 100% de Eucalipto a 0% de Pinus na mistura.

4.5.3 RASGO

Os índices de rasgo neste estudo tiveram variação entre 11,19 mNm²/g e 16,48 mNm²/g e podem ser observados na TABELA 11 e FIGURA 10. Estes valores próximos aos que NISGOSKI (2005) obteve em seu estudo, cuja variação ficou entre 10,68 mNm²/g e 18,25 mNm²/g estudando árvores de *Pinus taeda* com diferentes idades. Os valores encontrados por WILLER FERREIRA *et al.* (1997) para papel de *Eucalyptus dunnii* são superiores, variando de 14,77 a 15,17 mNm²/g, mas para °SR 35.

VAN DEN AKKER *et al.* (1958) afirmam que o número de fibras que se quebram quando uma folha de conífera é rasgada é da ordem de 75 a 80%, podendo-se presumir que ao se acrescentar pequena quantidade de fibras de folhosas, estas formem ligações de hidrogênio, aumentando assim a possibilidade das fibras longas terem de ser arrancadas da estrutura ao invés de se romperem. A energia para retirar uma fibra intacta da folha é bem maior do que a para rompê-la individualmente (BARRICHELO E FOELKEL, 1975). A partir de um certo percentual, o efeito positivo da fibra curta na mistura desapareceria, tornando predominante a menor resistência desta no papel. Estas novas ligações inter-fibras não se mostraram fortemente influentes para a resistência ao rasgo na mistura de *Eucalyptus dunnii* e *Pinus taeda*, nas condições deste experimento.

FIGURA 10 – VARIAÇÃO DO ÍNDICE DE RASGO NA MISTURA DE EUCALIPTO E PINUS NA FOLHA.



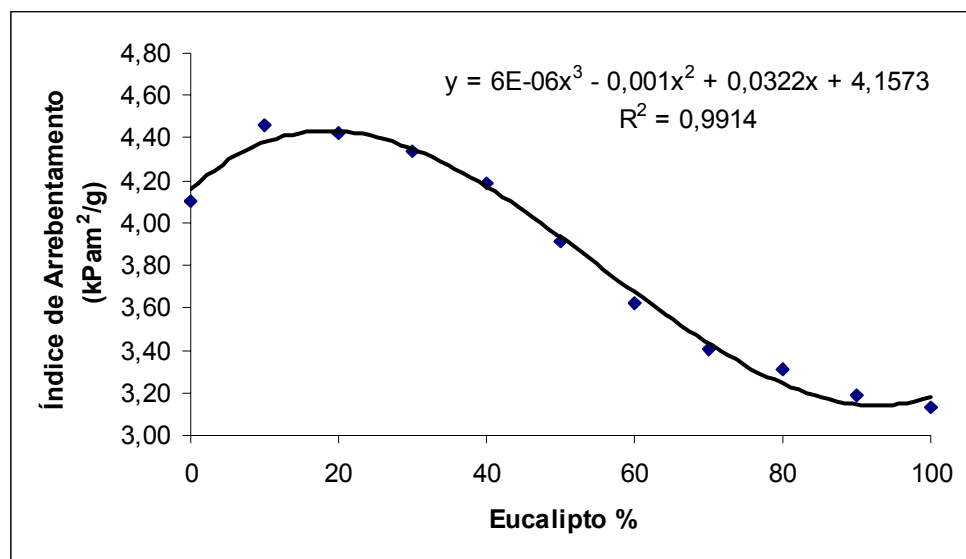
0% de Eucalipto corresponde a 100% de Pinus e 100% de Eucalipto a 0% de Pinus na mistura.

4.5.4 ARREBENTAMENTO

Os valores mostrados na TABELA 11 e FIGURA 11 para o índice de arrebentamento neste estudo variaram de 3,13 kPam²/g a 4,46 kPam²/g. Estes números ficaram próximos aos encontrados por BITTENCOURT (2004), que encontrou entre 3,20 kPam²/g e 4,00 kPam²/g, estudando árvores de *Pinus taeda* com idade entre 10 e 20 anos. WILLER FERREIRA *et al.* (1997) publicam valores bem superiores para o papel de *Eucalyptus dunnii*, entre 6,35 e 6,50 kPam²/g.

O índice de arrebentamento apresentou uma forte correlação com o índice de tração, como também verificaram BARRICHELO E FOELKEL (1975), KLOCK *et al.* (2002) e BASSA (2006).

FIGURA 11 – VARIAÇÃO DO ÍNDICE DE ARREBENTAMENTO NA MISTURA DE EUCALIPTO E PINUS NA FOLHA.



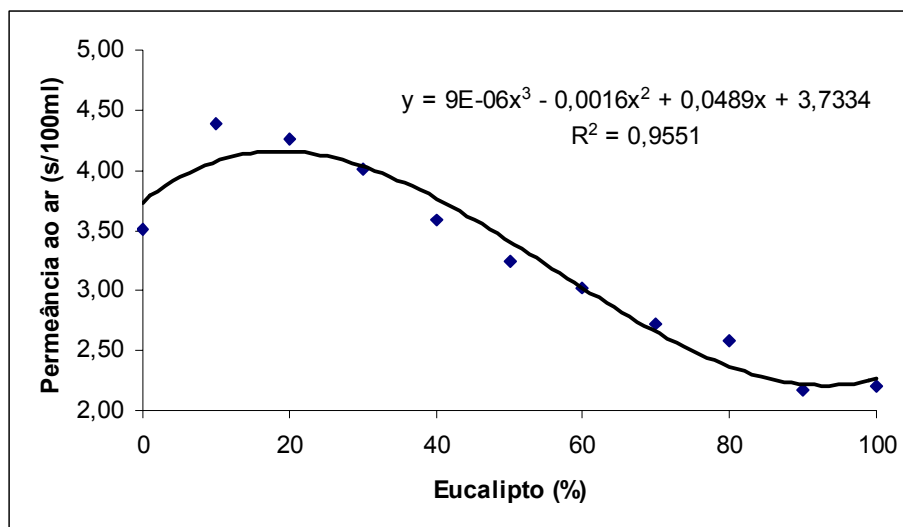
0% de Eucalipto corresponde a 100% de Pinus e 100% de Eucalipto a 0% de Pinus na mistura.

4.5.5 PERMEÂNCIA AO AR

Foram verificados valores de permeância ao ar de 2,17 a 4,39 s/100ml (TABELA 11 e FIGURA 12). WILLER FERREIRA et al. (1997) encontraram valores de 13,10 a 13,27 s/100ml para papel de *Eucalyptus dunnii* em °SR 35 e de 0,8 a 0,9 s/100ml para polpa sem refino, demonstrando grande influência do colapso das fibras no resultado do ensaio. BITTENCOURT (2004) encontrou 0,45 s/100ml para *Pinus taeda* com 20 minutos de refino no moinho Jokro a 150 rpm.

Neste estudo verificou-se uma forte influência inicial, na diminuição da permeabilidade da folha, de pequenos valores adicionados de fibras curtas, mesmo que estas formem folhas mais permeáveis quando predominantes na composição.

FIGURA 12 – VARIAÇÃO DA PERMEÂNCIA AO AR NA MISTURA DE EUCALIPTO E PINUS NA FOLHA.



0% de Eucalipto corresponde a 100% de Pinus e 100% de Eucalipto a 0% de Pinus na mistura.

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos é possível concluir:

1 - A escolha do grau de deslignificação do *Eucalyptus dunnii* e do *Pinus taeda* fixando iguais condições termo-químicas para o cozimento, mostrou-se mais eficiente para a possível comparação de resultados com processos onde este é realizado de forma unificada, do que para a otimização das qualidades do papel, pois as fibras não foram usadas no auge de suas propriedades.

2 – As propriedades de espessura, gramatura, volume aparente, alvura e opacidade sofreram variação contínua e linear, à medida que se adiciona Eucalipto à mistura.

3 - As resistências à tração e ao arrebatamento variaram de forma a demonstrar interação entre as fibras curtas e longas, devido à alteração na quantidade de ligações de hidrogênio entre elas. Seus valores tornaram-se maiores e menores que os extremos mais alto e baixo, respectivamente, ao longo da variação percentual da composição. O maior valor foi encontrado próximo a 20% de Eucalipto na composição.

4 - À medida que cresce o percentual de Eucalipto, diminui a resistência ao rasgo, porém de forma mais acentuada em percentuais mais altos.

5 – A permeância ao ar manteve forte correlação com o índice de arrebatamento, nas condições deste estudo.

6 - O estudo lança luzes às possibilidades no correto planejamento, visando otimizar o uso das matérias-primas, tanto objetivando determinadas características do produto final quanto os custos de produção.

Perante os resultados e conclusões obtidas neste estudo, recomenda-se:

1 - Determinação das variações de propriedades do papel para condições diferentes de cozimento como fator H e percentual de álcali ativo, com valores acima e abaixo dos estudados.

2 - Avaliação dos resultados para condições de cozimento diferentes entre as matérias-primas.

3 - Análise das variações de propriedades do papel para diferentes condições de refino daquelas estudadas.

4 - Comparação com resultados obtidos a partir de cozimento unificado, ou seja, com os cavacos misturados antes do processo químico, em relação a rendimentos e degradação de propriedades conferidas pelas fibras curtas.

5 - Aprofundamento do estudo do ponto de vista microscópico das interações na formação da malha de entrelaçamento entre fibras de diferentes comprimentos.

6 - Verificação em escala industrial das proporções que apresentaram vantagens em algumas propriedades.

7 - Avaliação econômica das vantagens da mistura, fixadas determinadas propriedades do papel, ante a diferença de custo individual de cada matéria-prima.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABTCP, **Curso de refinação da pasta celulósica**. Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Guaíba, 1999. 68p.

_____, **Curso sobre refinação da pasta celulósica**. Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. São Paulo, 2001. 87p.

ANDRADE, A. S. **Qualidade da madeira, celulose e papel em *Pinus taeda* L.**: Influência da Idade e Classe de Produtividade. Curitiba, 2006. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

ANNIKKI, H.; LEVLIN, J.E.; HANNU, P. **Principles and methods in pulp characterization**: basic fiber properties. In: EUCEPA CONFERENCE, 24., 1990, Stockholm. **Proceedings** ...Stockholm: The Swedish Association of Pulp and Paper Engineers, 1990. p. 174-187.

ARLOV, A. P. **Eating and blending of bleached softwoods and hardwoods pulps**. In: EUCEPA Symposium, European TAPPI Joint Meeting. Estocolmo, set. 1962.

BARRICHELO, L.E.G. e BRITO, J.O. **A madeira das espécies de eucalipto como matéria prima para a indústria de celulose e papel**. PNDU/FAO/IBDF/BRA. Brasília, 1976. 145p.

_____. **Química da madeira**. Piracicaba, SP, ESALQ, 1985. 125p.

BARRICHELO, L. E. G. e FOELKEL, C. E. B. **Mistura de celuloses de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribea* var. *caribea***. IPEF, n.10, 1975. p 63-76.

_____. **Estudos para a produção de celulose sulfato de seis espécies de eucalipto**. IPEF, n.12, 1976. p 77-95.

BASSA, A. G. M. C. **Misturas de madeiras de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus globulus* e *Pinus taeda* para produção de celulose Kraft através do processo Lo-Solids®**. Piracicaba, 2006.169f. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queirós.

BIERMANN, C.J. **Handbook of pulping and papermaking**. Academic Press. 2 ed. San Diego, 1996. 754p.

BITTENCOURT, E. **Parâmetros de otimização no processo de fabricação de celulose e papel**. Curitiba. 2004. 61f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná.

BOLAND, D.J.; BROOKER, M.I.H.; CHIPPENDALE, G.M.; HALL, N.; HYLAND, B.P.M.; JOHNSTON, RD.; KLEINIG, D.A.; TURNER, J.D. **Forest trees of Australia**. Melbourne: Nelson-CSIRO, 1984.

BRACELPA. Associação Brasileira de Celulose e Papel. Disponível em <http://www.bracelpa.org.br> . Acesso em: setembro de 2007.

BUGAJER, J. KUAN, G. S. S. **Comportamento das misturas de pastas celulósicas de eucalipto e pinho na fabricação de papel**. In: CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL, 1980, São Paulo. ANAIS... São Paulo: ABCP, 1980. p. 53-65.

BURGER, L. M. e RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. Nobel. São Paulo, 1991. 154 p.

CHEN, R.; GARCEAU, J. J.; KOKTA, B. V. **Hardwood mixed with softwood in kraft pulping**. TAPPI, Atlanta, v.61, n.7, p 35-38, 1978.

D'ALMEIDA, M.L.O. **Viscosidade de uma pasta celulósica e a resistência do papel formado**. O Papel, p. 39-42, ago. 1986.

DINWOODIE, J. M. **The relationship between fiber morphology and paper properties: a review of literature**. Tappi, Vol 48 n.8, August 1965. p 440-447.

EMBRAPA. Disponível em: www.embrapa.br Acesso em: outubro de 2007. http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus/03_2_pinus_taeda.htm.

FOELKEL, C. E. E. e BARRICHELO, L. E. G. **Variação nas propriedades físico-mecânicas da celulose Kraft de *Araucaria angustifolia* quando substituída parcialmente por celulose sulfato de *Eucalyptus saligna*.** 7ª convenção anual da ABCP, São Paulo, 1974. Trabalhos Técnicos. p. 131-135.

_____. **Mistura de celulose de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* var. *caribaea*.** IPEF, n. 10. Piracicaba, 1975. p 63-76.

GARLET, V. N. ANDRIOTTI, V. e SACON, V. **Misturas de fibras curtas e longas: influência das fibras de eucalipto nas propriedades do papel.** In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL, São Paulo, 1991. 37-51 p.

HIGA, R. C. V. **Avaliação e recuperação de *Eucalyptus dunnii* Maiden atingidos por geadas em Campo do Tenente, PR.** Curitiba, 1998. 108f. Tese (Doutorado) apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências agrárias da Universidade Federal do Paraná.

HIGA, A.R.; TREVISAN, R.; SOUZA, M.V.R. **Comportamento de 20 espécies de *Eucalyptus* em área de ocorrência de geadas na região sul do Brasil.** In: CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTUS (1997. Salvador) Anais. Colombo: IUFRO, 1997. p.106-110.

IPT – **Celulose e papel** – vol 1. São Paulo, 1981.

____ – **Celulose e papel** – vol 2. São Paulo, 1982.

KLINE, J.E. **Paper and paperboard, manufacturing and converting fundamentals.** San Francisco. ed.2, 245p. 1991.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Morre.** Curitiba. 2000. 297f. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná.

_____. **Química da madeira.** Fupef. Curitiba, 2006. 3 ed. 82p.

_____. **Polpa e papel.** Fupef. Curitiba, 1998. 129p.

KLOCK, U.; SILVA, D. A.; ANDRADE, A. S.; BITTENCOURT, E.; MOCELIN, E.Z. **Propriedades do papel Kraft feito a mão a partir de *Pinus maximinoi* H. E. Moore e *Pinus taeda* L.** Congresso Iberoamericano de Investigación em Celulosa y Papel, 2002.

KOLLMANN, F. F. P. e COTÉ, W. A. **Principles of wood science and technology: solid wood.** Vol 1. Springer-Verlag. New York , 1968. 592 p.

MENDES, L. M.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; KEINERT, S.; SALDANHA, L. K. ***Pinus* spp. na produção de painéis de partículas orientadas (OSB).** Ciência Florestal. Santa Maria, 2002. v. 12, n. 2, p. 135-145.

MIMMS, A. **Kraft pulping, a compilation of notes.** TAPPI PRESS. ed.2. Atlanta, 1993. 181 p.

MUÑIZ, G. I. B.; CORADIN V. R. **Normas de procedimentos em estudo de anatomia da Madeira:** I – Angiospermae, II – Gimnospermae. Brasília: Laboratório de Produtos Florestais (Série Técnica, 15), 1991.

NEVELL, T.P.; ZERONIAN, S.H. **Celulose chemistry and its applications.** New York: John Wiley & Sons, 1985.

NISGOSKI, S. **Espectroscopia no infravermelho próximo no estudo de características da madeira e papel de *Pinus taeda* L.** Curitiba. 2005. 160f. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná.

OLIVEIRA, J.G. **Programa de melhoramento de *Eucalyptus* spp. na Rigesa.** In: SIMPÓSIO BILATERAL BRASIL-FINLÂNDIA SOBRE ATUALIDADES FLORESTAIS. Anais...Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1988. p. 155-161.

OLIVEIRA, R. C.; FOELKEL, C.E.B.; GOMIDE, J. L. **Misturas de madeiras de *Pinus strobus* var. *chiapensis* e *Eucalyptus urophylla* na polpação Kraft.** O Papel, São Paulo, v 42, n.1, pp67-78, jan. 1981.

PEREIRA, J. C. D.; STURION, J. A.; HIGA, A. R.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil.** Colombo: Embrapa Florestas, 2000. Documentos, 38. 113p.

PETTERSEN, R.C. The chemical composition of wood. **The chemistry of solid wood.** Washington, American Chemical Society, 1984. p.54-126.

RIGATO, P. A.; DEDECEK, R. A.; MATOS, J. L. M. **Influência dos atributos do solo sobre a qualidade da madeira de *Pinus taeda* para produção de celulose kraft.** R. Árvore. Viçosa, 2004. v 28. n 2. p 267-373.

SACON, V.; MENOCELLI, S.; RATNIEKS, E. **Misturas de polpas brasileiras com o eucalipto.** In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. São Paulo. ABTCP, 1994. p. 463-473.

SANTINI, E. J. HASELEIN, C. R. GATTO, D. A. **Análise comparativa das propriedades físicas e mecânicas da madeira de três coníferas de florestas plantadas.** Ciência Florestal, v.10, n.1, p.85-93, 2000.

SCOTT, W. E.; ABBOTT, J. C.; TROSSET, S. **Properties of paper: an introduction.** 2 ed TAPPI PRESS. Atlanta, 1995. 191p.

SJÖSTRÖM E., ALÉN R. **Analytical methods in wood chemistry, pulping and papermaking.** Springer-Verlag. Berlin, 1999. 316 p.

SJÖSTRÖM, E. **Wood Chemistry: fundamentals and applications.** Academic Press. London, 1993. 2nd ed. 293p.

SMOOK, G. A. **Handbook for pulp & paper technologists.** 2nd. Angus Wilde Publications Inc. Vancouver, 1992. 419p.

STAMM, A. J. **Wood and cellulose science.** The Ronald Press Company. New York, 1964. 549p.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization.** New York, Van Nostrand Reinold, 1991. 494 p.

VAN DEN AKKER, I. A. et al. **TAPPI.** New York, 1958. 416p.

WILLER FERREIRA, G.; VIEIRA GONZAGA, J.; FOELKEL, C. E. B. et al. **Qualidade da celulose Kraft antraquinona de *Eucalyptus dunnii* plantado em cinco espaçamentos em relação ao *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*.** Ciência Florestal, Santa Maria, v 7, n.1, 1997, p 41-63.

YOUNG, J. H. **Pulp and paper: chemistry and chemical technology.** 3 ed. John Wiley & Sons. New York, 1980. 1446 p.

APÊNDICE 1 - DADOS ESTATÍSTICOS DA PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA POLPA CELULÓSICA

Número Kappa:

Eucalipto			<i>Kappa Eucalipto</i>		Pinus		
Amostra	Número	Kappa			Amostra	Número	Kappa
E11A	1	13,2	CV (%)	3,53	P11A	1	44,8
E11B	2	13,1	Média	13,42724	P11B	2	46,5
E12A	3	14,1	Erro padrão	0,08658	P12A	3	57,7
E12B	4	14,2	Mediana	13,5	P12B	4	58,2
E13A	5	13,0	Modo	13	P13A	5	51,1
E13B	6	13,7	Desvio padrão	0,474219	P13B	6	50,5
E21A	1	13,6	Variância da amostra	0,224883	P21A	1	47,2
E21B	2	13,0	Curtose	-0,94723	P21B	2	46,5
E22A	3	12,7	Assimetria	0,235848	P22A	3	57,4
E22B	4	12,9	Intervalo	1,659063	P22B	4	62,6
E23A	5	12,9	Mínimo	12,64094	P23A	5	44,6
E23B	6	13,1	Máximo	14,3	P23B	6	45,8
E31A	1	12,6	Soma	402,8173	P31A	1	48,9
E31B	2	12,9	Contagem	30	P31B	2	49,2
E32A	3	14,3	Nível de confiança(95,0%)	0,177076	P32A	3	48,8
E32B	4	13,4			P32B	4	58,8
E33A	5	13,8	<i>Kappa Pinus</i>		P33A	5	48,9
E33B	6	14,3	CV (%)	9,71	P33B	6	50,1
E41A	1	13,5	Média	52,43328	P41A	1	56,3
E41B	2	13,1	Erro padrão	0,929756	P41B	2	53,8
E42A	3	13,5	Mediana	51,59618	P42A	3	51,9
E42B	4	13,7	Modo	46,54471	P42B	4	55,6
E43A	5	13,8	Desvio padrão	5,092482	P43A	5	57,1
E43B	6	13,5	Variância da amostra	25,93337	P43B	6	63,5
E51A	1	14,0	Curtose	-0,58671	P51A	1	49,2
E51B	2	13,6	Assimetria	0,384297	P51B	2	52,2
E52A	3	13,6	Intervalo	18,82811	P52A	3	55,8
E52B	4	13,7	Mínimo	44,63732	P52B	4	53,1
E53A	5	13,0	Máximo	63,46543	P53A	5	51,3
E53B	6	13,0	Soma	1572,998	P53B	6	55,4
			Contagem	30			
			Nível de confiança(95,0%)	1,901565			

Número Kappa:

Anova: fator único

Eucalipto

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Amostra 1	6	81,30	13,55	0,2750
Amostra 2	6	78,20	13,03	0,0947
Amostra 3	6	81,32	13,55	0,4787
Amostra 4	6	81,10	13,52	0,0577
Amostra 5	6	80,90	13,48	0,1617

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	1,182975	4	0,295744	1,38492004	0,2677	2,758711
Dentro dos grupos	5,338641	25	0,213546			
Total	6,521616	29				

Anova: fator único

Pinus

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Amostra 1	6	308,84	51,47	30,8193461
Amostra 2	6	304,21	50,70	55,35465261
Amostra 3	6	304,65	50,78	15,50478319
Amostra 4	6	338,21	56,37	15,55699864
Amostra 5	6	317,09	52,85	6,376634258

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	134,0057	4	33,50144	1,355099935	0,277668	2,758711
Dentro dos grupos	618,0621	25	24,72248			
Total	752,0678	29				

FIBRAS DE EUCALIPTO

Comprimento:

	Amostra 1		Amostra 2		Amostra 3		Amostra 4		Amostra 5	
Média	844,98	Média	856,83	Média	935,71	Média	994,59	Média	1111,23	
Erro padrão	32,41	Erro padrão	30,25	Erro padrão	33,39	Erro padrão	27,93	Erro padrão	37,32	
Mediana	839,68	Mediana	845,74	Mediana	958,35	Mediana	1003,40	Mediana	1070,43	
Modo		Modo		Modo		Modo		Modo		
Desvio padrão	229,17	Desvio padrão	213,90	Desvio padrão	236,12	Desvio padrão	197,52	Desvio padrão	263,89	
Variância da amostra	52519,85	Variância da amostra	45753	Variância da amostra	55753	Variância da amostra	39015,09	Variância da amostra	69640,00	
Curtose	-1,08	Curtose	0,21	Curtose	-0,96	Curtose	-0,06	Curtose	1,05	
Assimetria	0,00	Assimetria	-0,04	Assimetria	-0,15	Assimetria	0,01	Assimetria	0,91	
Intervalo	824,59	Intervalo	1047,56	Intervalo	897,90	Intervalo	892,92	Intervalo	1232,90	
Mínimo	409,23	Mínimo	295,43	Mínimo	514,02	Mínimo	559,22	Mínimo	634,30	
Máximo	1233,81	Máximo	1342,99	Máximo	1411,9	Máximo	1452,14	Máximo	1867,19	
Soma	42248,77	Soma	42841	Soma	46785	Soma	49729,68	Soma	55561,67	
Contagem	50,00	Contagem	50,00	Contagem	50,00	Contagem	50,00	Contagem	50,00	
Nível de confiança(95,0%)	65,13	Nível de confiança(95,0%)	60,79	Nível de confiança(95,0%)	67,11	Nível de confiança(95,0%)	56,14	Nível de confiança(95,0%)	75,00	

Anova: fator único

RESUMO

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Amostra 1	50	42248,77	844,98	52519,85
Amostra 2	50	42841,34	856,83	45753,59
Amostra 3	50	46785,30	935,71	55753,95
Amostra 4	50	49729,68	994,59	39015,09
Amostra 5	50	55561,67	1111,23	69640,00
Geral			948,67	

ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	2394580	4	598645	11,39	0,00	2,41
Dentro dos grupos	12871441	245	52536			
Total	15266022	249				

FIBRAS DE EUCALIPTO

Largura:

	<i>Amostra 1</i>		<i>Amostra 2</i>		<i>Amostra 3</i>		<i>Amostra 4</i>		<i>Amostra 5</i>	
Média	12,87	Média	12,97	Média	12,76	Média	12,75	Média	14,74	
Erro padrão	0,39	Erro padrão	0,41	Erro padrão	0,33	Erro padrão	0,30	Erro padrão	0,39	
Mediana	12,53	Mediana	12,38	Mediana	12,84	Mediana	12,83	Mediana	14,03	
Modo	10,88	Modo	13,20	Modo	12,91	Modo	14,18	Modo	13,44	
Desvio padrão	2,78	Desvio padrão	2,90	Desvio padrão	2,33	Desvio padrão	2,09	Desvio padrão	2,77	
Variância da amostra	7,70	Variância da amostra	8,43	Variância da amostra	5,43	Variância da amostra	4,37	Variância da amostra	7,65	
Curtose	2,85	Curtose	3,51	Curtose	1,37	Curtose	-0,54	Curtose	1,35	
Assimetria	1,25	Assimetria	1,29	Assimetria	0,60	Assimetria	-0,06	Assimetria	1,07	
Intervalo	15,02	Intervalo	17,12	Intervalo	12,11	Intervalo	8,36	Intervalo	13,17	
Mínimo	8,45	Mínimo	7,12	Mínimo	7,68	Mínimo	8,77	Mínimo	9,94	
Máximo	23,47	Máximo	24,24	Máximo	19,79	Máximo	17,13	Máximo	23,11	
Soma	643,48	Soma	648,39	Soma	638,05	Soma	637,32	Soma	737,04	
Contagem	50,00	Contagem	50,00	Contagem	50,00	Contagem	50,00	Contagem	50,00	
Nível de confiança(95,0%)	0,79	Nível de confiança(95,0%)	0,83	Nível de confiança(95,0%)	0,66	Nível de confiança(95,0%)	0,59	Nível de confiança(95,0%)	0,79	

Anova: fator único

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Amostra 1	50	643,48	12,87	7,70
Amostra 2	50	648,39	12,97	8,43
Amostra 3	50	638,05	12,76	5,43
Amostra 4	50	637,32	12,75	4,37
Amostra 5	50	737,04	14,74	7,65
Geral			13,22	

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	146,70	4	36,68	5,46	0,00	2,41
Dentro dos grupos	1645,72	245	6,72			
Total	1792,42	249				

FIBRAS DE EUCALIPTO

Lume:

	Amostra 1		Amostra 2		Amostra 3		Amostra 4		Amostra 5	
Média	4,94	Média	5,56	Média	5,55	Média	5,41	Média	6,04	
Erro padrão	0,19	Erro padrão	0,23	Erro padrão	0,24	Erro padrão	0,17	Erro padrão	0,31	
Mediana	4,89	Mediana	5,44	Mediana	5,10	Mediana	5,41	Mediana	5,43	
Modo	4,14	Modo	5,44	Modo	5,10	Modo	4,99	Modo	5,44	
Desvio padrão	1,35	Desvio padrão	1,61	Desvio padrão	1,67	Desvio padrão	1,18	Desvio padrão	2,16	
Variância da amostra	1,82	Variância da amostra	2,59	Variância da amostra	2,77	Variância da amostra	1,38	Variância da amostra	4,67	
Curtose	-0,19	Curtose	2,18	Curtose	4,87	Curtose	-0,24	Curtose	1,42	
Assimetria	0,38	Assimetria	0,70	Assimetria	1,82	Assimetria	0,14	Assimetria	1,37	
Intervalo	6,24	Intervalo	9,38	Intervalo	8,87	Intervalo	4,82	Intervalo	9,50	
Mínimo	2,38	Mínimo	1,77	Mínimo	3,40	Mínimo	2,87	Mínimo	3,04	
Máximo	8,61	Máximo	11,16	Máximo	12,28	Máximo	7,69	Máximo	12,54	
Soma	246,95	Soma	277,77	Soma	277,70	Soma	270,30	Soma	301,91	
Contagem	50,00	Contagem	50,00	Contagem	50,00	Contagem	50,00	Contagem	50,00	
Nível de confiança(95,0%)	0,38	Nível de confiança(95,0%)	0,46	Nível de confiança(95,0%)	0,47	Nível de confiança(95,0%)	0,33	Nível de confiança(95,0%)	0,61	

Anova: fator único

RESUMO

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Amostra 1	50	246,95	4,94	1,82
Amostra 2	50	277,77	5,56	2,59
Amostra 3	50	277,70	5,55	2,77
Amostra 4	50	270,30	5,41	1,38
Amostra 5	50	301,91	6,04	4,67
Geral			5,50	

ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	30,96	4,00	7,74	2,93	0,02	2,41
Dentro dos grupos	648,07	245,00	2,65			
Total	679,03	249,00				

FIBRAS DE PINUS

Comprimento:

Amostra 1		Amostra 2		Amostra 3		Amostra 4		Amostra 5	
Média	2948,57	Média	3231,65	Média	2886,44	Média	2813,89	Média	3011,13
Erro padrão	115,43	Erro padrão	142,14	Erro padrão	124,33	Erro padrão	151,43	Erro padrão	132,95
Mediana	3017,01	Mediana	3289,62	Mediana	2696,73	Mediana	2783,3	Mediana	2935,73
Modo		Modo		Modo		Modo		Modo	
Desvio padrão	816,22	Desvio padrão	1005,08	Desvio padrão	879,12	Desvio padrão	1070,7	Desvio padrão	940,11
Variância da amostra	666207	Variância da amostra		Variância da amostra	772859	Variância da amostra	1146569	Variância da amostra	883802,99
Curtose	-0,77	Curtose	-0,81	Curtose	0,43	Curtose	5,88	Curtose	-0,75
Assimetria	0,07	Assimetria	0,00	Assimetria	0,59	Assimetria	1,75	Assimetria	0,17
Intervalo	3117,97	Intervalo	3862,88	Intervalo	4147,0	Intervalo	6005,3	Intervalo	3911,80
Mínimo	1469,16	Mínimo	1313,48	Mínimo	1295,6	Mínimo	1440,8	Mínimo	1259,37
Máximo	4587,13	Máximo	5176,3	Máximo	5442,6	Máximo	7446,1	Máximo	5171,17
Soma	147428	Soma	161582	Soma	144321	Soma	140694	Soma	150556,39
Contagem	50	Contagem	50	Contagem	50	Contagem	50	Contagem	50
Nível de confiança(95,0%)	231,97	Nível de confiança(95,0%)	285,64	Nível de confiança(95,0%)	249,84	Nível de confiança(95,0%)	304,31	Nível de confiança(95,0%)	267,18

Anova: fator único

RESUMO

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Amostra 1	50	147428,29	2948,57	666207,15
Amostra 2	50	161582,66	3231,65	1010184,56
Amostra 3	50	144321,87	2886,44	772859,35
Amostra 4	50	140694,44	2813,89	1146569,45
Amostra 5	50	150556,39	3011,13	883802,99
Geral			2978,33	

ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	5080970	4,00		1,42	0,23	2,41
Dentro dos grupos	219501552	245,00	895924			
Total	224582522	249,00				

FIBRAS DE PINUS

Largura:

Amostra 1		Amostra 2		Amostra 3		Amostra 4		Amostra 5	
Média	39,40	Média	37,23	Média	37,22	Média	34,38	Média	33,83
Erro padrão	1,24	Erro padrão	1,22	Erro padrão	1,39	Erro padrão	1,29	Erro padrão	1,30
Mediana	37,83	Mediana	37,75	Mediana	36,98	Mediana	32,48	Mediana	33,11
Modo	35,54	Modo	48,47	Modo		Modo		Modo	29,33
Desvio padrão	8,80	Desvio padrão	8,66	Desvio padrão	9,86	Desvio padrão	9,09	Desvio padrão	9,20
Variância da amostra	77,37	Variância da amostra	74,94	Variância da amostra	97,26	Variância da amostra	82,66	Variância da amostra	84,64
Curtose	0,95	Curtose	-0,85	Curtose	-0,77	Curtose	0,57	Curtose	-0,51
Assimetria	1,01	Assimetria	-0,12	Assimetria	0,01	Assimetria	0,86	Assimetria	0,38
Intervalo	38,07	Intervalo	32,44	Intervalo	37,00	Intervalo	38,44	Intervalo	34,97
Mínimo	25,46	Mínimo	20,22	Mínimo	18,36	Mínimo	19,43	Mínimo	18,01
Máximo	63,54	Máximo	52,66	Máximo	55,37	Máximo	57,87	Máximo	52,98
Soma	1969,83	Soma	1861,49	Soma	1861,00	Soma	1719,03	Soma	1691,67
Contagem	50	Contagem	50	Contagem	50	Contagem	50	Contagem	50
Nível de confiança(95,0%)	2,50	Nível de confiança(95,0%)	2,46	Nível de confiança(95,0%)	2,80	Nível de confiança(95,0%)	2,58	Nível de confiança(95,0%)	2,61

Anova: fator único

RESUMO

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Amostra 1	50	1969,83	39,40	77,37
Amostra 2	50	1861,49	37,23	74,94
Amostra 3	50	1861,00	37,22	97,26
Amostra 4	50	1719,03	34,38	82,66
Amostra 5	50	1691,67	33,83	84,64
Geral			36,41	

ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	1050,27	4,00	262,57	3,15	0,02	2,41
Dentro dos grupos	20426,55	245,00	83,37			
Total	21476,82	249,00				

FIBRAS DE PINUS

Lume:

	<i>Amostra 1</i>	<i>Amostra 2</i>	<i>Amostra 3</i>	<i>Amostra 4</i>	<i>Amostra 5</i>				
Média	14,69	Média	13,65	Média	16,76	Média	16,31	Média	15,74
Erro padrão	0,64	Erro padrão	0,60	Erro padrão	0,85	Erro padrão	0,87	Erro padrão	0,90
Mediana	14,10	Mediana	13,13	Mediana	17,03	Mediana	14,72	Mediana	14,30
Modo	#N/D	Modo	10,92	Modo	19,15	Modo	14,72	Modo	7,12
Desvio padrão	4,54	Desvio padrão	4,27	Desvio padrão	6,04	Desvio padrão	6,19	Desvio padrão	6,36
Variância da amostra	20,64	Variância da amostra	18,24	Variância da amostra	36,45	Variância da amostra	38,26	Variância da amostra	40,48
Curtose	0,00	Curtose	-0,60	Curtose	0,97	Curtose	1,81	Curtose	0,90
Assimetria	0,66	Assimetria	0,23	Assimetria	0,79	Assimetria	1,17	Assimetria	1,00
Intervalo	18,57	Intervalo	18,10	Intervalo	29,02	Intervalo	29,56	Intervalo	24,63
Mínimo	7,00	Mínimo	5,91	Mínimo	6,27	Mínimo	7,98	Mínimo	7,12
Máximo	25,57	Máximo	24,00	Máximo	35,29	Máximo	37,54	Máximo	31,75
Soma	734,56	Soma	682,43	Soma	837,78	Soma	815,74	Soma	787,03
Contagem	50	Contagem	50	Contagem	50	Contagem	50	Contagem	50
Nível de confiança(95,0%)	1,29	Nível de confiança(95,0%)	1,21	Nível de confiança(95,0%)	1,72	Nível de confiança(95,0%)	1,76	Nível de confiança(95,0%)	1,81

Anova: fator único

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Amostra 1	50	734,56	14,69	20,64
Amostra 2	50	682,43	13,65	18,24
Amostra 3	50	837,78	16,76	36,45
Amostra 4	50	815,74	16,31	38,26
Amostra 5	50	787,03	15,74	40,48
Geral			15,43	

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	317,79	4,00	79,45	2,58	0,04	2,41
Dentro dos grupos	7549,24	245,00	30,81			
Total	7867,03	249,00				

Densidade básica:

Eucalipto									
Saco	1			2					
Amostra	1	2	3	1	2	3	Desvio =		0,00973645
volume	295,55	286,12	291,10	300,61	259,60	289,52	Variancia=		0,0000947985
Massa seca	106,60	95,17	100,87	98,14	98,48	102,38			
Densidade	0,4497	0,4181	0,4337	0,4054	0,4897	0,4432			
Densidade Média	0,4338			0,4461					
Saco	3			4			5		
Amostra	1	2	3	1	2	3	1	2	3
volume	322,45	291,95	274,84	239,51	293,94	272,67	309,60	314,83	306,20
Massa seca	118,46	103,93	96,96	78,24	96,95	92,39	109,11	116,71	99,70
Densidade	0,4488	0,4452	0,4482	0,4322	0,4118	0,4314	0,4345	0,4553	0,4025
Densidade Média	0,4474			0,4251			0,4308		

volume do pote = 58,50

Pinus									
Saco	1			2					
Amostra	1	2	3	1	2	3	Desvio =		0,018299342
volume	371,40	341,28	360,81	350,12	328,25	301,79	Variancia=		0,0003348659
Massa seca	103,57	100,76	102,50	98,62	89,14	77,23			
Densidade	0,3310	0,3563	0,3391	0,3382	0,3305	0,3174			
Densidade Média	0,3421			0,3287					
Saco	3			4			5		
Amostra	1	2	3	1	2	3	1	2	3
volume	317,45	347,71	303,55	299,25	280,94	299,53	268,75	308,06	302,48
Massa seca	83,90	89,61	84,49	87,78	80,05	87,77	76,70	89,09	90,92
Densidade	0,3240	0,3098	0,3448	0,3646	0,3599	0,3641	0,3648	0,3570	0,3727
Densidade Média	0,3262			0,3629			0,3648		

volume do pote = 58,50

Extrativos:

Amostras	Extrativos	Extrativos %
P1	0,0260	2,602%
P2	0,0278	2,778%
P3	0,0212	2,116%
P4	0,0273	2,727%
P5	0,0241	2,410%
E1	0,0113	1,133%
E2	0,0126	1,260%
E3	0,0102	1,025%
E4	0,0121	1,206%
E5	0,0102	1,016%
P1 B	0,0265	2,651%
P2 B	0,0275	2,751%
P3 B	0,0216	2,161%
P4 B	0,0277	2,775%
P5 B	0,0248	2,475%
E1 B	0,0114	1,144%
E2 B	0,0129	1,286%
E3 B	0,0108	1,081%
E4 B	0,0120	1,200%
E5 B	0,0101	1,012%

Eucalipto

Média	1,14%
Desv. Padrão	0,00101012
Variância	1,0203E-06

Pinus

Média	2,54%
Desv. Padrão	0,00247691
Variância	6,1351E-06

Lignina:

Amostras	Lignina	Lignina %
P1	0,257538	25,75%
P2	0,257695	25,77%
P3	0,254891	25,49%
P4	0,267121	26,71%
P5	0,26576	26,58%
E1	0,216259	21,63%
E2	0,223815	22,38%
E3	0,215956	21,60%
E4	0,215038	21,50%
E5	0,210849	21,08%
P1 B	0,255887	25,59%
P2 B	0,25787	25,79%
P3 B	0,242794	24,28%
P4 B	0,252587	25,26%
P5 B	0,246619	24,66%
E1 B	0,201314	20,13%
E2 B	0,213686	21,37%
E3 B	0,201172	20,12%
E4 B	0,207626	20,76%
E5 B	0,202732	20,27%

Eucalipto

Média	21,08%
Desv. Padrão	0,007526992
Variância	5,66556E-05

Pinus

Média	25,59%
Desv. Padrão	0,007474537
Variância	5,58687E-05

APÊNDICE 2 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA)

ESPESSURA

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	10	0.001	0.000	24.167	0.0000
Within	44	0.000	0.000		
Total	54	0.001			

Coefficient of Variation = 1.68%

Bartlett's test

Chi-square = 9.797

Number of Degrees of Freedom = 10

Approximate significance = 0.458

ALVURA

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	10	1171.567	117.157	3117.154	0.0000
Within	44	1.654	0.038		
Total	54	1173.221			

Coefficient of Variation = 0.60%

Bartlett's test

Chi-square = 24.989

Number of Degrees of Freedom = 10

Approximate significance = 0.005

OPACIDADE

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	10	5.560	0.556	8.027	0.0000
Within	44	3.048	0.069		
Total	54	8.608			

Coefficient of Variation = 0.29%

Bartlett's test

Chi-square = 6.718

Number of Degrees of Freedom = 10

Approximate significance = 0.752

TRAÇÃO

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	10	3.281	0.328	3.822	0.0009
Within	44	3.777	0.086		
Total	54	7.058			

Coefficient of Variation = 8.00%

Bartlett's test

Chi-square = 24.112

Number of Degrees of Freedom = 10

Approximate significance = 0.007

RASGO

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	10	672281.527	67228.153	54.020	0.0000
Within	44	54758.000	1244.500		
Total	54	727039.527			

Coefficient of Variation = 3.61%

Bartlett's test

Chi-square = 9.812

Number of Degrees of Freedom = 10

Approximate significance = 0.457

ARREBENTAMENTO

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	10	60760.508	6076.051	27.410	0.0000
Within	44	9753.462	221.670		
Total	54	70513.969			

Coefficient of Variation = 5.50%

Bartlett's test

Chi-square = 11.479

Number of Degrees of Freedom = 10

Approximate significance = 0.321

PERMEÂNCIA

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	10	30.654	3.065	20.543	0.0000
Within	44	6.565	0.149		
Total	54	37.219			

Coefficient of Variation = 11.89%

Bartlett's test

Chi-square = 33.078

Number of Degrees of Freedom = 10

Approximate significance = 0.000

APÊNDICE 3 - COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TESTE DE TUKEY)

ESPESSURA

Data File :

ESPESSUR□

Title : Espessura do papel

Case Range : 61 - 71

Variable 3 : Espessura

Function :

RANGE□

Error Mean Square = 1.000e-006

Error Degrees of Freedom = 44

No. of observations to calculate a mean = 5

Tukey's Honestly Significant Difference Test

$s_ = 0.0004472$ at $\alpha = 0.050$

x

□

	Original Order			Ranked Order		
Mean	1 =	0.1125	F	Mean	11 =	0.1247 A
Mean	2 =	0.1129	F	Mean	10 =	0.1243 A
Mean	3 =	0.1153	E	Mean	9 =	0.1231 AB
Mean	4 =	0.1159	E	Mean	8 =	0.1219 BC
Mean	5 =	0.1188	D	Mean	7 =	0.1209 BCD
Mean	6 =	0.1199	CD	Mean	6 =	0.1199 CD
Mean	7 =	0.1209	BCD	Mean	5 =	0.1188 D
Mean	8 =	0.1219	BC	Mean	4 =	0.1159 E
Mean	9 =	0.1231	AB	Mean	3 =	0.1153 E
Mean	10 =	0.1243	A	Mean	2 =	0.1129 F
Mean	11 =	0.1247	A	Mean	1 =	0.1125 F

□

ALVURA

Data File :

ALVURA□

Title : Alvura

Case Range : 61 - 71

Variable 3 : Alvura

Function :

RANGE□

Error Mean Square = 1.654

Error Degrees of Freedom = 44

No. of observations to calculate a mean = 5

Tukey's Honestly Significant Difference Test

$s_ = 0.5752$ at alpha = 0.050

x

□

Original Order				Ranked Order			
Mean	1 =	25.39	H	Mean	11 =	39.89	A
Mean	2 =	26.52	GH	Mean	10 =	38.06	AB
Mean	3 =	27.85	FGH	Mean	9 =	36.37	B
Mean	4 =	28.88	FG	Mean	8 =	35.41	BC
Mean	5 =	30.35	EF	Mean	7 =	33.25	CD
Mean	6 =	31.77	DE	Mean	6 =	31.77	DE
Mean	7 =	33.25	CD	Mean	5 =	30.35	EF
Mean	8 =	35.41	BC	Mean	4 =	28.88	FG
Mean	9 =	36.37	B	Mean	3 =	27.85	FGH
Mean	10 =	38.06	AB	Mean	2 =	26.52	GH
Mean	11 =	39.89	A	Mean	1 =	25.39	H

□

OPACIDADE

OPACIDAD□

Title : Opacidade

Case Range : 171 - 181

Variable 4 : Opacidade

Function :

RANGE□

Error Mean Square = 0.1130

Error Degrees of Freedom = 154

No. of observations to calculate a mean = 15

Tukey's Honestly Significant Difference Test

$s_ = 0.08679$ at alpha = 0.050

x

□

Original Order				Ranked Order			
Mean	1 =	91.58	E	Mean	11 =	92.59	A
Mean	2 =	91.78	DE	Mean	7 =	92.45	AB
Mean	3 =	91.90	CDE	Mean	8 =	92.43	AB
Mean	4 =	91.77	DE	Mean	10 =	92.29	ABC
Mean	5 =	91.90	CDE	Mean	9 =	92.27	ABC
Mean	6 =	92.15	BCD	Mean	6 =	92.15	BCD
Mean	7 =	92.45	AB	Mean	3 =	91.90	CDE
Mean	8 =	92.43	AB	Mean	5 =	91.90	CDE
Mean	9 =	92.27	ABC	Mean	2 =	91.78	DE
Mean	10 =	92.29	ABC	Mean	4 =	91.77	DE
Mean	11 =	92.59	A	Mean	1 =	91.58	E

TRAÇÃO

Data File : TRACAO□

Title :

Case Range : 185 - 195

Variable 4 : Tracao

Function :

RANGE□

Error Mean Square = 0.2100

Error Degrees of Freedom = 154

No. of observations to calculate a mean = 15

Tukey's Honestly Significant Difference Test

$s_ = 0.1183$ at $\alpha = 0.050$

x

□

	Original Order			Ranked Order		
Mean	1 =	5.760	AB	Mean	3 =	6.047 A
Mean	2 =	5.987	A	Mean	4 =	6.020 A
Mean	3 =	6.047	A	Mean	2 =	5.987 A
Mean	4 =	6.020	A	Mean	5 =	5.940 A
Mean	5 =	5.940	A	Mean	1 =	5.760 AB
Mean	6 =	5.527	ABC	Mean	6 =	5.527 ABC
Mean	7 =	5.280	BC	Mean	7 =	5.280 BC
Mean	8 =	5.200	C	Mean	11 =	5.273 BC
Mean	9 =	5.113	C	Mean	8 =	5.200 C
Mean	10 =	5.100	C	Mean	9 =	5.113 C
Mean	11 =	5.273	BC	Mean	10 =	5.100 C

□

RASGO

RASGOMN□

Title : Rasgo mN

Case Range : 61 - 71

Variable 3 : Rasgo

Function :

RANGE□

Error Mean Square = 1245.

Error Degrees of Freedom = 44

No. of observations to calculate a mean = 5

Tukey's Honestly Significant Difference Test

$s_ = 15.78$ at $\alpha = 0.050$

x

□

	Original Order			Ranked Order		
Mean	1 =	1117.	A	Mean	1 =	1117. A
Mean	2 =	1105.	A	Mean	2 =	1105. A
Mean	3 =	1067.	AB	Mean	3 =	1067. AB
Mean	4 =	1061.	AB	Mean	4 =	1061. AB

Mean	5 =	1026.	BC	Mean	5 =	1026.	BC
Mean	6 =	991.6	BCD	Mean	6 =	991.6	BCD
Mean	7 =	982.4	CD	Mean	7 =	982.4	CD
Mean	8 =	928.8	DE	Mean	8 =	928.8	DE
Mean	9 =	885.0	EF	Mean	9 =	885.0	EF
Mean	10 =	809.6	FG	Mean	10 =	809.6	FG
Mean	11 =	772.2	G	Mean	11 =	772.2	G

□

ARREBENTAMENTO

ARREBENT□

Title : Arrebentamento

Case Range : 121 - 131

Variable 4 : Arrebent

Function :

RANGE□

Error Mean Square = 0.03200

Error Degrees of Freedom = 99

No. of observations to calculate a mean = 10

Tukey's Honestly Significant Difference Test

s_x = 0.05657 at alpha = 0.050

x

□

Original Order				Ranked Order			
Mean	1 =	2.840	AB	Mean	2 =	3.100	A
Mean	2 =	3.100	A	Mean	3 =	3.080	A
Mean	3 =	3.080	A	Mean	4 =	3.025	A
Mean	4 =	3.025	A	Mean	5 =	2.915	AB
Mean	5 =	2.915	AB	Mean	1 =	2.840	AB
Mean	6 =	2.735	BC	Mean	6 =	2.735	BC
Mean	7 =	2.545	CD	Mean	7 =	2.545	CD
Mean	8 =	2.405	DE	Mean	8 =	2.405	DE
Mean	9 =	2.330	DE	Mean	9 =	2.330	DE
Mean	10 =	2.230	E	Mean	10 =	2.230	E
Mean	11 =	2.205	E	Mean	11 =	2.205	E

□

PERMEÂNCIA

PERMEANC□

Title : Permeancia

Case Range : 121 - 131
 Variable 4 : Permeancia
 Function :

RANGE

Error Mean Square = 0.1430
 Error Degrees of Freedom = 99
 No. of observations to calculate a mean = 10

Tukey's Honestly Significant Difference Test
 $s_ = 0.1196$ at alpha = 0.050

x

□

Original Order				Ranked Order			
Mean	1 =	3.514	BC	Mean	2 =	4.388	A
Mean	2 =	4.388	A	Mean	3 =	4.260	A
Mean	3 =	4.260	A	Mean	4 =	4.012	AB
Mean	4 =	4.012	AB	Mean	5 =	3.594	BC
Mean	5 =	3.594	BC	Mean	1 =	3.514	BC
Mean	6 =	3.236	CD	Mean	6 =	3.236	CD
Mean	7 =	3.028	CDE	Mean	7 =	3.028	CDE
Mean	8 =	2.719	DEF	Mean	8 =	2.719	DEF
Mean	9 =	2.583	EF	Mean	9 =	2.583	EF
Mean	10 =	2.165	F	Mean	11 =	2.203	F
Mean	11 =	2.203	F	Mean	10 =	2.165	F

□