

"Celso Foelkel"  
Aluno recordado  
do colégio e "Amigo"  
"Rubens"

RUBENS CHAVES DE OLIVEIRA

*Celso Foelkel*

PRODUÇÃO DE CELULOSE KRAFT A PARTIR DE MISTURAS DE  
MADEIRAS DE Pinus strobus var. chiapensis e  
Eucalyptus urophylla DE ORIGEM HÍBRIDA

*Celso Foelkel*

Tese apresentada à Universidade Federal  
de Viçosa, como parte das exigências do Curso  
de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para  
obtenção do Grau de "Magister Scientiae".

VIÇOSA - MINAS GERAIS

1979

A minha esposa Dóris

Aos meus pais

## AGRADECIMENTO

Sem termos a veleidade de, em poucas palavras, saldarmos toda a nossa dívida de gratidão para com todos que, de qualquer maneira, nos auxiliaram durante o referido trabalho, queremos deixar-lhes aqui, bem expresso, o testemunho do nosso mais sincero agradecimento.

Nestes termos, é de revelar a capacidade e dedicação do professor Celso Edmundo B. Foelkel, a quem expressamos o nosso reconhecimento pelo manifestado interesse na realização desta pesquisa, pelas atenções e facilidades com que se dignou a orientar-nos.

Não esqueçamos também a espontânea e eficiente ajuda recebida do professor Ricardo M. Della Lucia, a quem constantemente importunamos.

Dirigimos também os nossos mais expressivos agradecimentos ao professor José Lívio Gomide pelos pedidos de conselhos e esclarecimentos prestimosos.

Igualmente, estamos gratos à Celulose Nipo Brasileira S. A. GENIBRA, que num esforço conjunto com a U.F.V., nos permitiu a oportuna e proveitosa realização deste curso a nível de mestrado em Ciência Florestal - Opção Tecnologia de Celulose e Papel.

Cumpre-nos também tornar extensivos os nossos agradecimentos a todos os colegas de curso, que de uma forma direta ou indireta contribu

iram com a realização deste trabalho.

Da mesma forma, agradecemos às datilógrafas Maria de Lourdes Rezende Ladeira e Vera Miriam Quintão Carneiro pela excelente colaboração.

Enfim, aos funcionários do laboratório de celulose e papel do Departamento de Engenharia Florestal da U.F.V. pela zelosa colaboração cedida no decorrer do nosso trabalho.

A todos, pois um sincero Muito Obrigado.

## BIOGRAFIA DO AUTOR

RUBENS CHAVES DE OLIVEIRA, filho de Cirilo Chaves de Rezende e Edina de Oliveira Chaves, nasceu aos 23 de agosto de 1951 em Bom Jesus do Norte, Espírito Santo.

Concluiu o primário no Grupo Escolar "Horácio Plínio" e o ginasial e científico no Colégio "Coronel Antônio Honório", em sua cidade natal.

Em 1973, iniciou o Curso de Engenharia Florestal na Escola Superior de Florestas da Universidade Federal de Viçosa, graduando-se em dezembro de 1976.

Já em 1977, iniciou o Curso de Mestrado em Ciência Florestal, com opção para Tecnologia de Celulose e Papel, concluindo os requisitos para o Grau de "Magister Scientiae" em julho de 1979.

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE QUADROS .....	viii
EXTRATO .....	xviii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	4
2.1. A Madeira de Coníferas .....	4
2.1.1. Dimensões das Fibras .....	5
2.1.2. Densidade Básica .....	5
2.1.3. Composição Química .....	6
2.2. A Madeira de Folhosas .....	6
2.2.1. Dimensões das Fibras .....	7
2.2.2. Densidade Básica .....	7
2.2.3. Composição Química .....	8
2.3. Produção de Celulose a Partir de Cozimentos de Mistu ras de Madeiras .....	8
2.4. Mistura de Celuloses .....	11
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	14
3.1. Determinação da Densidade Básica das Madeiras .....	17
3.2. Determinação das Dimensões das Fibras das Madeiras .	18

	Página
3.3. Determinação da Composição Química das Madeiras .....	19
3.4. Misturas das Madeiras para Produção de Celulose .....	19
3.5. Produção de Celulose .....	20
3.6. Determinação do Número Kappa das Celuloses .....	22
3.7. Determinação da Viscosidade das Celuloses .....	22
3.8. Preparo das Celuloses para Ensaios Físico-Mecânicos ....	22
3.8.1. Refino ou Moagem .....	22
3.8.2. Formação de Folhas para Ensaios .....	23
3.8.3. Acondicionamento das Folhas .....	23
3.9. Ensaios Físico-Mecânicos .....	23
3.10. Análise Estatística dos Resultados .....	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	25
4.1. Densidade Básica .....	25
4.2. Dimensões das Fibras .....	26
4.3. Relações entre as Dimensões Fundamentais das Fibras ....	27
4.4. Composição Química das Madeiras .....	28
4.5. Deslignificação das Madeiras .....	29
4.5.1. Rendimento Bruto em Celulose .....	29
4.5.2. Rendimento Depurado em Celulose .....	36
4.5.3. Teor de Rejeitos das Celuloses .....	41
4.5.4. Número Kappa das Celuloses .....	47
4.6. Viscosidade das Celuloses .....	54
4.7. Propriedades Físico-Mecânicas das Celuloses .....	59
4.7.1. Tempo de Refino Necessário para se Atingir 20, 40 e 60 <sup>o</sup> BR .....	59
4.7.2. Resistência à Tração das Celuloses .....	63
4.7.3. Resistência ao Arrebentamento das Celuloses ....	77
4.7.4. Resistência ao Rasgo das Celuloses .....	88
4.7.5. Esticamento das Celuloses .....	100

## Página

4.7.6. Densidade Aparente das Folhas de Celulose .....	108
4.7.7. Volume Específico Aparente das Folhas de Celu- lose .....	115
5. RESUMO E CONCLUSÕES .....	123
6. LITERATURA CITADA .....	126
APÊNDICE .....	129



## LISTA DE QUADROS

QUADRO		Página
1	Composição Química Fundamental das Madeiras de Coníferas .....	6
2	Composição Química Fundamental das Madeiras de Folhosas .....	8
3	Condições dos Cozimentos da Mistura de Dótula e "Hemlock" (HATTON, 1977) .....	10
4	Parâmetros Dendrométricos de <u>Pinus strobus</u> var. <u>chiapensis</u> com 10 Anos de Idade .....	16
5	Definição dos Tratamentos .....	21
6	Variação da Densidade Básica da Madeira e Casca de <u>Pinus strobus</u> var. <u>chiapensis</u> (g/cm <sup>3</sup> ) .....	25
7	Densidade Básica dos Cavacos de Madeira de <u>Eucalyptus urophylla</u> (g/cm <sup>3</sup> ) .....	26
8	Dimensões das Fibras de <u>Pinus strobus</u> e <u>Eucalyptus urophylla</u> .....	26
9	Relações entre as Dimensões Fundamentais das Fibras de <u>P. strobus</u> e <u>E. urophylla</u> .....	27
10	Composição Química das Madeiras de <u>P. strobus</u> e <u>E. urophylla</u> .....	28

QUADRO		Página
11	Rendimento Bruto das Celuloses (%) .....	30
12	Análise da Variância para Rendimento Bruto .....	31
13	Efeito da Porcentagem de <u>Pinus</u> (P), Fator H (H) e Alkali Ativo (A) sobre o Rendimento Bruto, de acordo com o Desdobramento da Interação P x H x A .....	32
14	Comparações, pelo Teste de Tukey, para os Valores Médios do Rendimento Bruto em Celulose, na Interação P x H x A: Influência da Porcentagem de <u>Pinus</u> .	33
15	Comparações para os Valores Médios do Rendimento Bruto, na Interação P x H x A: Influência do Fator H .....	33
16	Comparações para os Valores Médios do Rendimento Bruto, na Interação P x H x A: Influência do Alkali Ativo .....	34
17	Rendimento Depurado das Celuloses (%) .....	36
18	Análise da Variância para Rendimento Depurado .....	37
19	Efeito da Porcentagem de <u>Pinus</u> (P), Fator H (H) e Alkali Ativo (A) sobre o Rendimento Depurado, de acordo com o Desdobramento da Interação P x H x A ..	38
20	Comparações, pelo Teste de Tukey, para os Valores Médios do Rendimento Depurado em Celulose, na Interação P x H x A: Influência da Porcentagem de <u>Pinus</u>	39
21	Comparações para os Valores Médios do Rendimento Depurado em Celulose, na Interação P x H x A: Influência do Fator H .....	39
22	Comparações para os Valores Médios do Rendimento Depurado em Celulose, na Interação P x H x A: Influência do Alkali Ativo .....	40
23	Teor de Rejeitos das Celuloses (%) .....	42
24	Análise da Variância para Teor de Rejeitos .....	43

QUADRO	Página
25	Efeito da Porcentagem de <u>Pinus</u> (P), Fator H (H) e <u>Ál</u> cali Ativo (A) sobre o Teor de Rejeitos, de Acordo com o Desdobramento da Interação P x H x A ..... 44
26	Comparações, pelo Teste de Tukey, para os Valores Mé dios do Teor de Rejeitos das Celuloses, na Interação P x H x A: Influência da Porcentagem de <u>Pinus</u> ..... 45
27	Comparações entre os Valores Médios para o Teor de Rejeitos das Celuloses, na Interação P x H x A: In- fluência do Fator H ..... 45
28	Comparações entre os Valores Médios para Teor de Re- jeitos das Celuloses, na Interação P x H x A: Influ- ência do Álcali Ativo ..... 46
29	Número Kappa das Celuloses ..... 48
30	Análise da Variância para Número Kappa ..... 49
31	Efeito da Porcentagem de <u>Pinus</u> (P), Fator H (H) e <u>Ál</u> cali Ativo (A) sobre o Número Kappa, de Acordo com o Desdobramento da Interação P x H x A ..... 50
32	Comparações, pelo Teste de Tukey, para os Valores Mé dios do Número Kappa das Celuloses, na Interação P x H x A: Influência da Porcentagem de <u>Pinus</u> ..... 51
33	Comparações entre os Valores Médios para o Número Kappa das Celuloses, na Interação P x H x A: Influên cia do Fator H ..... 51
34	Comparações entre os Valores Médios para o Número Kappa das Celuloses, na Interação P x H x A: Influên cia do Álcali Ativo ..... 52
35	Viscosidade das Celuloses (cP) ..... 54
36	Análise da Variância para Viscosidade das Celuloses. 55
37	Efeito da Porcentagem de <u>Pinus</u> (P), Fator H (H) e <u>Ál</u> cali Ativo (A) sobre a Viscosidade das Celuloses, de Acordo com o Desdobramento da Interação P x H x A .. 56

QUADRO	Página
38	Comparações, pelo Teste de Tukey, para os Valores Médios da Viscosidade das Celuloses, na Interação P x H x A: Influência da Porcentagem de <u>Pinus</u> ..... 57
39	Comparações entre os Valores Médios da Viscosidade das Celuloses, na Interação P x H x A: Influência do Fator H ..... 57
40	Comparações entre os Valores Médios da Viscosidade das Celuloses, na Interação P x H x A: Influência do Álcali Ativo ..... 58
41	Tempo de Refino Necessário para se Atingir 20, 40 e 60° SR (Minutos) ..... 60
42	Análise da Variância para Tempo de Refino ..... 61
43	Efeito da Porcentagem de <u>Pinus</u> (P), Fator H (H) e Álcali Ativo (A) sobre o Tempo de Refino, de Acordo com o Desdobramento da Interação P x H x A ..... 62
44	Efeito da Porcentagem de <u>Pinus</u> (P) e Grau de Refino (°SR) sobre o Tempo de Refino, de Acordo com o Desdobramento da Interação P x °SR ..... 63
45	Efeito do Álcali Ativo (A) e Grau de Refino (°SR) sobre o Tempo de Refino, de Acordo com o Desdobramento da Interação A x °SR ..... 63
46	Comparações, pelo Teste de Tukey, para os Valores Médios de Tempo de Refino, na Interação P x H x A: Influência da Porcentagem de <u>Pinus</u> ..... 64
47	Comparações entre os Valores Médios para Tempo de Refino na Interação P x H x A: Influência do Fator H . 64
48	Comparações entre os Valores Médios para Tempo de Refino na Interação P x H x A: Influência do Álcali Ativo ..... 65
49	Comparações, pelo Teste de Tukey, para os Valores Médios de Tempo de Refino, na Interação P x °SR: Influência do Grau de Refino ..... 65

QUADRO		Página
50	Comparações, pelo Teste de Tukey, para os Valores Médios de Tempo de Refino, na Interação $P \times \text{°SR}$ : Influência da Porcentagem de <u>Pinus</u> .....	66
51	Comparações entre os Valores Médios de Tempo de Refino, na Interação $A \times \text{°SR}$ : Influência de Grau de Refino e de Alkali Ativo .....	66
52	Resistência à Tração das Celulosos (km) .....	69
53	Análise da Variância para Resistência à Tração .....	70
54	Efeito da Porcentagem de <u>Pinus</u> (P) e Fator H (H) sobre a Resistência à Tração, de Acordo com o Desdobramento da Interação $P \times H$ .....	71
55	Efeito da Porcentagem de <u>Pinus</u> (P) e de Alkali Ativo (A) sobre a Resistência à Tração de Acordo com o Desdobramento de Interação $P \times A$ .....	71
56	Efeito da Porcentagem de <u>Pinus</u> (P) e de Grau de Refino ( $\text{°SR}$ ) sobre a Resistência à Tração de Acordo com o Desdobramento da Interação $P \times \text{°SR}$ .....	72
57	Efeito do Alkali Ativo (A) e do Grau de Refino ( $\text{°SR}$ ) sobre a Resistência à Tração, de Acordo com o Desdobramento da Interação $A \times \text{°SR}$ .....	72
58	Comparações entre os Valores Médios de Resistência à Tração, na Interação $P \times H$ : Influência da Porcentagem de <u>Pinus</u> e do Fator H .....	73
59	Comparações entre os Valores Médios de Resistência à Tração, na Interação $P \times A$ : Influência da Porcentagem de <u>Pinus</u> e do Alkali Ativo .....	74
60	Comparações, pelo Teste de Tukey, entre os Valores Médios de Resistência à Tração, na Interação $P \times \text{°SR}$ : Influência da Porcentagem de <u>Pinus</u> .....	74
61	Comparações, pelo Teste de Tukey, entre os Valores Médios de Resistência à Tração, na Interação $P \times \text{°SR}$ : Influência do Grau de Refino .....	75

QUADRO		Página
62	Comparações entre os Valores Médios de Resistência à Tração na Interação $A \times {}^{\circ}SR$ : Influência do Álcali Ativo e do Grau de Refino .....	75
63	Resistência ao Arrebentamento das Celuloses .....	70
64	Análise da Variância da Resistência ao Arrebentamento .....	79
65	Efeito da Porcentagem de <u>Pinus</u> (P) sobre a Resistência ao Arrebentamento, de Acordo com o Desdobramento da Interação $P \times H \times A \times {}^{\circ}SR$ .....	80
66	Efeito do Fator H (H) sobre a Resistência ao Arrebentamento, de Acordo com o Desdobramento da Interação $P \times H \times A \times {}^{\circ}SR$ .....	81
67	Efeito do Álcali Ativo (A) sobre a Resistência ao Arrebentamento, de Acordo com o Desdobramento da Interação $P \times H \times A \times {}^{\circ}SR$ .....	82
68	Efeito do Grau de Refino ( ${}^{\circ}SR$ ) sobre a Resistência ao Arrebentamento, de Acordo com o Desdobramento da Interação $P \times H \times A \times {}^{\circ}SR$ .....	83
69	Comparações, pelo Teste de Tukey, entre os Valores Médios de Resistência ao Arrebentamento, na Interação $P \times H \times A \times {}^{\circ}SR$ : Influência da Porcentagem de <u>Pinus</u> .....	84
70	Comparações entre os Valores Médios de Resistência ao Arrebentamento, na Interação $P \times H \times A \times {}^{\circ}SR$ : Influência do Fator H .....	85
71	Comparações entre os Valores Médios de Resistência ao Arrebentamento, na Interação $P \times H \times A \times {}^{\circ}SR$ : Influência do Álcali Ativo .....	86
72	Comparações, pelo Teste de Tukey, entre os Valores Médios de Resistência ao Arrebentamento, na Interação $P \times H \times A \times {}^{\circ}SR$ : Influência do Grau de Refino ..	87
73	Resistência ao Rasgo das Celuloses .....	89

## QUADRO

## Página

74	Análise da Variância para Resistência ao Rasgo ....	90
75	Efeito da Porcentagem de <u>Pinus</u> (P), Fator H (H) e Álcali Ativo (A) sobre a Resistência ao Rasgo, de acordo com o Desdobramento da Interação P x H x A ..	91
76	Efeito da Porcentagem de <u>Pinus</u> (P), Álcali Ativo (A), e Grau de Refino ( $^{\circ}$ SR) sobre a Resistência ao Rasgo, de acordo com o Desdobramento da Interação P x A x $^{\circ}$ SR .....	92
77	Efeito do Fator H (H) e Grau de Refino ( $^{\circ}$ SR) sobre a Resistência ao Rasgo, de acordo com o Desdobramento da Interação H x $^{\circ}$ SR .....	93
78	Comparações, pelo Teste de Tukey, entre os Valores Médios de Resistência ao Rasgo, na Interação P x H x A: Influência da Porcentagem de <u>Pinus</u> .....	93
79	Comparações entre os Valores Médios para Resistência ao Rasgo, na Interação P x H x A: Influência do Fator H .....	94
80	Comparações entre os Valores Médios para Resistência ao Rasgo, na Interação P x H x A: Influência do Álcali Ativo .....	94
81	Comparações, pelo Teste de Tukey, entre os Valores Médios de Resistência ao Rasgo, na Interação P x A x $^{\circ}$ SR: Influência da Porcentagem de <u>Pinus</u> .....	95
82	Comparações entre os Valores Médios de Resistência ao Rasgo, na Interação P x A x $^{\circ}$ SR: Influência do Álcali Ativo .....	96
83	Comparações, pelo Teste de Tukey, entre os Valores Médios de Resistência ao Rasgo, na Interação P x A x $^{\circ}$ SR: Influência do Grau de Refino .....	97
84	Comparações entre os Valores Médios de Resistência ao Rasgo na Interação H x $^{\circ}$ SR: Influência do Grau de Refino .....	97

QUADRO		Página
85	Comparações entre os Valores Médios de Resistência ao Rasgo, na Interação $H \times \text{SR}$ : Influência do Fator H ..	98
86	Esticamento das Celuloses (%) .....	101
87	Análise da Variância para Esticamento .....	102
88	Efeito da Porcentagem de <u>Pinus</u> (P), Fator H (H) e Álcali Ativo (A) sobre o Esticamento, de Acordo com o Desdobramento da Interação $P \times H \times A$ .....	103
89	Efeito da Porcentagem de <u>Pinus</u> (P) e Grau de Refino ( $\text{SR}$ ) sobre o Esticamento de Acordo com o Desdobramento da Interação $P \times \text{SR}$ .....	104
90	Comparações, pelo Teste de Tukey, entre os Valores Médios de Esticamento, na Interação $P \times H \times A$ : Influência da Porcentagem de <u>Pinus</u> .....	105
91	Comparações entre os Valores Médios para Esticamento, na Interação $P \times H \times A$ : Influência do Fator H .....	106
92	Comparações entre os Valores Médios para Esticamento, na Interação $P \times H \times A$ : Influência do Álcali Ativo ..	106
93	Comparações, pelo Teste de Tukey, entre os Valores Médios de Esticamento, na Interação $P \times \text{SR}$ : Influência da Porcentagem de <u>Pinus</u> .....	106
94	Comparações, pelo Teste de Tukey, entre os Valores Médios de Esticamento, na Interação $P \times \text{SR}$ : Influência do Grau de Refino .....	107
95	Densidade Aparente das Folhas de Celulose ( $\text{g/cm}^3$ ) ..	109
96	Análise da Variância para Densidade Aparente .....	110
97	Efeito da Porcentagem de <u>Pinus</u> (P), Fator H (H) e Álcali Ativo (A) sobre a Densidade Aparente, de Acordo com o Desdobramento da Interação $P \times H \times A$ .....	111
98	Efeito da Porcentagem de <u>Pinus</u> (P) e do Grau de Refino ( $\text{SR}$ ) sobre a Densidade Aparente, de Acordo com o Desdobramento da Interação $P \times \text{SR}$ .....	112



QUADRO		Página
99	Comparações, pelo Teste de Tukey, entre os Valores Médios de Densidade Aparente, na Interação P x H x A: Influência da Porcentagem de <u>Pinus</u> .....	112
100	Comparações entre os Valores Médios para Densidade Aparente, na Interação P x H x A: Influência do Fa- tor H .....	113
101	Comparações entre os Valores Médios para Densidade Aparente, na Interação P x H x A: Influência do Ál- cali Ativo .....	113
102	Comparações, pelo Teste de Tukey, entre os Valores Médios de Densidade Aparente, na Interação P x <sup>o</sup> SR: Influência da Porcentagem de <u>Pinus</u> .....	114
103	Comparações, pelo Teste de Tukey, entre os Valores Médios de Densidade Aparente, na Interação P x <sup>o</sup> SR: Influência do Grau de Refino .....	114
104	Volume Específico Aparente das Folhas de Celulose (cm <sup>3</sup> /g) .....	116
105	Análise da Variância para Volume Específico Apa- rente .....	117
106	Efeito da Porcentagem do <u>Pinus</u> (P), Fator H (H) e Álcali Ativo (A) sobre o Volume Específico Aparen- te, de acordo com o Desdobramento da Interação P x H x A .....	118
107	Efeito da Porcentagem de <u>Pinus</u> (P) e de Grau Refino ( <sup>o</sup> SR) sobre o Volume Específico Aparente, de acordo com o Desdobramento da Interação P x <sup>o</sup> SR .....	119
108	Comparações, pelo Teste de Tukey, entre os Valo- res Médios de Volume Específico Aparente, na Inte- ração P x H x A: Influência da Porcentagem de <u>Pinus</u> .....	119
109	Comparações entre os Valores Médios para Volume Específico Aparente, na Interação P x H x A: In- fluência do Fator H .....	120

QUADRO	Página
110	Comparações entre os Valores Médios para Volume Específico Aparente, na Interação $F \times H \times A$ : Influência do Alkali Ativo ..... 120
111	Comparações, pelo Teste de Tukey, entre os Valores Médios de Volume Específico Aparente, na Interação $P \times \%S$ : Influência da Porcentagem de <u>Pinus</u> ..... 121
112	Comparações, pelo Teste de Tukey, entre os Valores Médios de Volume Específico Aparente, na Interação $P \times \%S$ : Influência do Grau de Refino ..... 121

## EXTRATO

OLIVEIRA, Rubens Chaves, M.S. Universidade Federal de Viçosa, julho de 1979. Produção de celulose kraft a partir de misturas de madeiras de Pinus strobus var. chiapensis e Eucalyptus urophylla de origem híbrida. Professor Orientador: Celso Edmundo Bochetti Foelkel. Professores Conselheiros: José Lívio Gomide e Ricardo Marius Della Lucia.

Misturar celuloses de fibras longas e curtas é prática comum na fabricação de papel. O objetivo é incorporar no produto final as características favoráveis de ambas. Uma das formas de se obter isso é se deslignificar misturas de madeiras, o que foi feito nesse trabalho com Pinus strobus var. chiapensis e Eucalyptus urophylla de origem híbrida. As misturas foram viáveis e permitem a obtenção de polpas com qualidades as mais diversas. A proporção ideal dependerá das características desejadas no produto final. A madeira de P. strobus, possuindo mais lignina, era de mais difícil conversão a celulose que a de E. urophylla. Com isso, a madeira de P. strobus necessitava condições mais drásticas de cozimento. Um sério problema das misturas era o teor de rejeitos, que era proporcional ao teor de madeira de P. strobus. A madeira de P. strobus, possuindo menor densidade e conduzindo a polpas com menores rendimentos, provoca um aumento no consumo de madeira por tonelada de celulose. As grandes vantagens conferidas pelas fibras longas do Pinus às propriedades físico-mecânicas foram: maiores resistências ao rasgo,

à tração e ao arrebatamento e esticamento, todos apenas no início do refino. As desvantagens eram: tempo do refino elevado e mais alta densidade nos baixos graus de refino. Apenas 33,33 % de madeira de Pinus strobus eram suficientes para incorporar à celulose, boa parte das características das fibras longas. As polpas do E. urophylla possuíam alta capacidade de inter-ligação das fibras a partir de 40° SR, o que era da máxima importância para algumas das suas resistências.

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a carência de madeira de coníferas tem crescido e não existe projeção, a curto prazo, para uma estabilização ou diminuição. No Brasil, com a exploração intensiva das florestas naturais de Araucaria angustifolia, passou-se a reflorestar, com espécies do gênero Pinus. Na região sudeste do País, algumas espécies tropicais de Pinus tem sido introduzidas, com sucesso, para se suprir a demanda de madeira de coníferas. Entretanto, mesmo aos níveis de plantações executados atualmente, existe uma certeza de que a oferta de madeira de coníferas será menor que a demanda. Essa situação ocorre ao nível internacional e deverá se agravar em futuro próximo, quando as reservas florestais tornarem-se mais escassas e as demandas de produtos madeireiros e de papel, forem maiores. Não existem dúvidas, que esses fatores têm forçado as indústrias de celulose e papel no sentido de se obter mais, e de forma mais barata, as matérias-primas vegetais essenciais ao seu funcionamento.

O sucesso alcançado no Brasil pelas espécies do gênero Eucalyptus na produção de celulose e papel tem sido enorme. Entretanto, por tradição, a fibra curta ainda não é totalmente aceita no mercado mundial. A situação, aos poucos, vai-se revertendo e atualmente, muitas indústrias papeleiras na Europa, Japão e Estados Unidos, vêm substituindo

do a matéria-prima tradicional de fibra longa, por proporção variável de fibra curta, em mistura. Essa mistura, que pode ser realizada de diversas formas, visa a manufatura de um produto final compatível com as exigências do mercado consumidor.

Tanto os aspectos técnico-econômicos relativos à produção de celulose e papel, como as próprias características anatômicas das madeiras de coníferas e folhosas, vêm contribuindo, cada vez mais, para a maior utilização das celuloses de fibras curtas pela indústria papaleira.

As espécies do gênero Eucalyptus, por possuírem fibras curtas em relação às madeiras de coníferas, de fibras longas, conduzem a papéis com melhor formação, melhores propriedades superficiais e boas propriedades físico-mecânicas. Entretanto, não se pode conseguir alta resistência ao rasgo, utilizando-se apenas celulose de fibra curta. Outras vantagens das madeiras de fibras curtas são o seu menor teor de lignina e maior teor de hemiceluloses. Com isso, na produção de celulose, a deslignificação é mais rápida, exige-se menos produtos químicos e o rendimento é maior.

Sendo os Eucalyptus, madeiras de fibras tipicamente curtas, a resistência ao rasgo de suas celuloses não atinge valores elevados. Outras desvantagens são a menor resistência da folha úmida e a presença de vasos, que podem prejudicar a impressão dos papéis.

Pelas vantagens de um e de outro tipo de matéria-prima, considerou-se justificável conduzir um estudo de viabilidade de cozimentos conjuntos de dois tipos de madeiras para a produção de celulose kraft, na qual poderão ser combinadas as propriedades desejáveis de ambas.

O propósito desse experimento foi avaliar as celuloses kraft obtidas de cozimentos conjuntos de madeiras de Pinus strobus var. chiapensis e Eucalyptus urophylla de origem híbrida.

Procurou-se analisar a incorporação, em um produto final, das características vantajosas de cada uma das matérias-primas em estudo. As duas espécies escolhidas para as misturas o foram, a primeira por repre

sentar uma conífera tropical de grande potencialidade no Brasil, e a se  
gunda, por se tratar de um eucalipto, também tropical, já consagrado pa  
ra produção de celulose.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. A Madeira de Coníferas

FOELKEL (1977) descreve as madeiras de coníferas, como sendo bastante uniformes em sua estrutura. Os principais elementos lenhosos são os traqueídeos, chamados vulgarmente de fibras, e as células de parênquima. Em geral, a relação volumétrica entre ambos é de 9 : 1. A maioria das espécies apresenta anéis de crescimento bem definidos, compostos de um lenho inicial de células com paredes delgadas e de um lenho tardio, com traqueídeos de paredes espessas.

As madeiras de coníferas, por serem relativamente simples, apresentam os seguintes elementos:

#### A) Elementos longitudinais

- a) Prosenquimatosos: traqueídeos
- b) Parenquimatosos: células epiteliais dos canais de resina longitudinais e parênquima longitudinal.

#### B) Elementos radiais

- a) Prosenquimatosos: traqueídeos radiais
- b) Parenquimatosos: células parenquimatosas do raio e células epiteliais dos canais transversais de resina.



Os canais de resina, tão frequentes nas madeiras de coníferas, não são elementos anatômicos. Consistem-se apenas de dutos ou aberturas na madeira, rodeados por células secretoras de resina, denominadas epiteliais.

#### 2.1.1. Dimensões das Fibras

Os traqueídeos são células longas em relação ao seu diâmetro: variam de 1 a 9 mm de comprimento e de 30 a 60  $\mu$  de largura. Tanto o comprimento como a espessura da parede celular são bastante variáveis em coníferas (FOELKEL, 1977). Há considerável variação dessas características entre espécies, dentro da espécie e dentro de uma única árvore.

#### 2.1.2. Densidade Básica

FOELKEL (1977) relata que, em virtude da uniformidade da estrutura, as alterações na espessura da parede celular estão intimamente correlacionadas com a densidade da madeira. Por essa razão, a densidade básica da madeira é usualmente aceita como um bom índice de sua qualidade. Existe uma alta correlação entre a densidade da madeira e a proporção entre lenho inicial e lenho tardio, uma vez que o aumento da porcentagem de lenho tardio corresponde a maior quantidade de fibras com paredes espessas. No entanto, deve-se levar em consideração, que a porção central do caule, devido à formação do cerne, tem suas cavidades celulares preenchidas por extrativos, ocorrendo densidades mais altas sem que haja correlação entre lenhos inicial e tardio.

Para as coníferas, FOELKEL et alii (1975) descrevem que os fatores mais importantes que influenciam a densidade da madeira são: espécie, idade da árvore e condições ecológicas.

### 2.1.3. Composição Química

De acordo com a Technical Association of the Pulp and Pulp Industry - TAPPI (1976), a composição química média das madeiras de coníferas é a indicada no Quadro 1.

QUADRO 1 - Composição Química Fundamental das Madeiras de Coníferas

Componentes	Teor (%)
Celulose	42 $\pm$ 2
Hemicelulose	27 $\pm$ 2
Lignina	28 $\pm$ 3

Segundo FOELKEL (1977), uma das características das madeiras de coníferas é que essas são constituídas de quase 20 % de galactoglucomana parcialmente acetilada e que apenas 10 % correspondem a xilana. A madeira de conífera ainda contém pequenas quantidades de material pectico, amido e outras hemiceluloses.

## 2.2. A Madeira de Folhosas

Além do grande número de espécies que compõem esse grupo de vegetais, FOELKEL (1977) descreve que existe uma ampla variação na estrutura de suas madeiras. Vasos, parênquimas, fibras libriformes, fibro-traqueídeos e outras células especializadas arranjam-se em inúmeras formas para compor suas madeiras. Também para folhosas, o comprimento da fibra e a espessura da parede celular são características importantes.

As folhosas, por representarem um estágio mais evoluído no reino vegetal, possuem tecidos mais especializados e complexos que os de coní-

feras. Os elementos que compõem uma madeira de folhosa são assim classificados:

A) Elementos longitudinais

a) Prosenquimatosos: fibras libriformes, elementos de vaso, fibro-traqueídos, traqueídos vasicêntricos e traqueídos vasculares.

b) Parenquimatosos: parênquima longitudinal e células epiteliais dos canais de goma.

B) Elementos radiais

a) Prosenquimatosos: não ocorrem

b) Parenquimatosos: células parenquimatosas do raio e células epiteliais dos canais transversais de goma.

2.2.1. Dimensões das Fibras

As fibras libriformes das folhosas são curtas e finas. O comprimento varia de 0,7 a 2 mm e a largura de 10 a 30  $\mu$ . Os vasos são muito largos, entre 50 e 300  $\mu$ . As células parenquimatosas são curtas, de paredes delgadas e com largura semelhante à das fibras. As fibras representam, em geral, 60 % do volume da madeira, os vasos 20 % e o parênquima 30 % (FOELKEL, 1977).

2.2.2. Densidade Básica

Para madeiras de folhosas, a densidade não depende apenas da estrutura da parede celular, mas também da proporção dos vários tecidos presentes. Dentro de uma mesma espécie, essa proporção é relativamente constante e a espessura da parede controla as variações da densidade. Isso é verdadeiro também dentro de muitos gêneros (FOELKEL, 1977). Diversos autores têm associado a densidade da madeira dos Eucalyptus à sua qualidade para produção de celulose (FERREIRA, 1970; FOELKEL, 1974).

### 2.2.3. Composição Química

"Introduction to Pulping Technology", da TAPPI (1976), relata a composição química média das madeiras de folhosas, conforme o apresentado no Quadro 2.

QUADRO 2 - Composição Química Fundamental das Madeiras de Folhosas

Componentes	Teor (%)
Celulose	45 ± 2
Hemicelulose	30 ± 5
Lignina	20 ± 4

Segundo FOELKEL (1977), a característica química mais importante das folhosas é o alto teor de xilana ácida parcialmente acetilada, que corresponde a 20 a 35 % da madeira. As folhosas contêm também uma pequena proporção (1 a 3 %) de glucomanana, material pectico, amido e outras hemiceluloses.

### 2.3. Produção de Celulose a Partir de Cozimentos de Misturas de Madeiras

A possibilidade de cozimentos conjuntos de misturas de madeiras para produção de celulose, especialmente pelo processo kraft, tem sido demonstrada com relativo sucesso. No entanto, algumas objeções são ainda levantadas, baseadas na teoria de que os cozimentos conjuntos causam degradação parcial na celulose mais fácil de se deslignificar (geralmente de folhosas), diminuindo assim a resistência das pastas. Outra consideração é que os cavacos de folhosas absorvem mais álcali, resultando em um aumento da quantidade de cavacos parcialmente deslignificados de coníferas. Outros

autores entretanto, negam que exista uma influência negativa dos cozimentos de mistura de madeiras sobre a qualidade do produto resultante. Afirmani, isso sim, que tanto os cozimentos conjuntos como os de madeiras individuais, seguidos de misturas das polpas, conduzem a produtos de qualidades similares.

KOSAYA et alii (1964) executaram, em laboratório, uma série de cozimentos kraft em conjunto e em separado, de madeiras de Pinus e de álamo. As misturas continham de 10 a 50 % de madeira de álamo ou de polpa de álamo. Os resultados obtidos indicaram, que a produção de celulose a partir de cozimentos de misturas de cavacos não resulta em queda de rendimento, nem em menor resistência das celuloses, desde que se estabeleça o tempo de cozimento, de modo a que este não seja prolongado além do ponto crítico, onde passa a ocorrer degradação da madeira de folhosa. Nesse experimento foi usada uma temperatura máxima de cozimento de 170°C e o ciclo total foi de 4 horas. Os autores admitiram que as condições não foram suficientes para se alcançar o ponto crítico de degradação da polpa de álamo, obtendo-se boas características para rendimentos e resistências das celuloses.

BARRICHELO e FOELKEL (1975) estudaram as variações nas propriedades físico-mecânicas das pastas celulósicas resultantes de cozimentos sulfato, onde proporções de 5 e 10 % de cavacos de Bambusa vulgaris var. vitatta eram misturados a cavacos de Eucalyptus saligna. Eles concluíram que a substituição da madeira de E. saligna por B. vulgaris nas proporções de 5 e 10 %, elevaram sensivelmente os rendimentos e a resistência ao rasgo da celulose resultante. As outras propriedades, como tempo de moagem, densidade aparente, resistência à tração e ao arreben-tamento, não foram afetadas pela introdução do material de B. vulgaris no cozimento.

HATTON (1977) procurou otimizar o cozimento kraft de misturas de madeira de bétula (folhosa) e "hemlock" (conífera), na proporção, em peso, de 20 % da primeira e 80 % da última. Três combinações de tamanho de cavacos foram usadas, em que cavacos de "hemlock" de 2 a 4 mm de es-

pequena, foram misturados com cavacos de bétula com espessura de 2 a 4, 4 a 6 e 6 a 8 mm, respectivamente. Foram testadas duas condições de cozimento, conforme mostra o Quadro 3.

QUADRO 3 - Condições dos Cozimentos da Mistura de Bétula e "Hemlock"  
(HATTON, 1977)

Condições	Cozimentos	
	1	2
Tempo até temperatura máxima, minutos	135	135
Tempo à temperatura máxima, minutos	120	110
Temperatura máxima, °C	170	170
Alcali efetivo, % base madeira a.s.	14,0	15,5
Sulfidez, %	26,0	26,0
Relação licor/madeira	4,5/1	4,5/1

O autor concluiu que o rendimento depurado foi maximizado e o teor de rejeitos minimizado e um menor número de permanganato foi obtido, quando cavacos de bétula de 2 a 4 mm de espessura foram deslignificados em misturas com cavacos de "hemlock" da mesma espessura.

CHEN et alii (1978), através de uma série de cozimentos, estudaram a produção de celulose kraft a partir de cozimentos conjuntos de madeiras de folhosa e de conífera. O material utilizado foi constituído de cavacos de Populus tremuloides ("aspen") e de Picea glauca ("spruce"), representando respectivamente uma madeira de folhosa e uma de conífera. A fração de madeira de folhosa utilizada variou de 0 a 1 (0; 0,146; 0,500; 0,854; 1); o álcali ativo aplicado base madeira variou de 15,7 % até 20,3 % (15,7 %; 16,4 %; 18 %; 19,6 %; 20,3 %); a temperatura máxima era de 170°C para fatores H de 1020 a 1480 (1020; 1083; 1250; 1417 e 1480). Os autores analisaram os resultados obtidos em rendimentos, teor de rejeitos, número kappa e resistência da folha úmida de celulose. Com

a adição de frações de madeira de folhosa à de conífera, pode-se observar um aumento de 2 a 4 % no rendimento em celulose, menores teores de rejeitos, menor consumo de álcali ativo e melhor deslignificação. Para a adição das menores porcentagens de madeira de folhosa, não houve uma pronunciada alteração na resistência a úmido da celulose. Os autores abordaram a vantagem econômica de se misturar cavacos de folhosas, em geral 50 % mais baratos que os de coníferas, para a produção de celulose kraft.

FOELKEL et alii (1978) realizaram estudos no sentido de analisar a potencialidade de algumas espécies nativas para a produção de celulose kraft em mistura com Eucalyptus grandis, na proporção de 5, 10 e 15% ou isoladamente, para as seguintes condições de cozimento: álcali ativo, base  $\text{Na}_2\text{O}$  foi de 17 %; sulfidez em 20 %; temperatura máxima de  $160^\circ\text{C}$  durante 60 minutos; tempo até a máxima temperatura em 120 minutos e relação licor madeira de 4,5 : 1. As espécies nativas utilizadas foram: Schizolobium parahyba, Joannesia princeps, Simaruba amara e Spondias sp.

Os resultados encontrados mostraram superioridade para as misturas em relação aos cozimentos das madeiras isoladas, inclusive sobre o eucalipto, em termos de: rendimentos em celuloses, resistência ao rasgo, arrebatamento e ao dobramento e que a branqueabilidade das polpas não se mostrou alterada.

#### 2.4. Mistura de Celulose

Atualmente, na indústria papelreira, existe um pronunciado movimento no sentido de se intensificar o uso de misturas de celulose na fabricação de quase todos os tipos de papel. Há principalmente um grande interesse em se misturar fibras longas e curtas.

MYSLINSKA (1951) realizou pesquisas em laboratório, misturando celulose sulfito não-branqueada com celuloses kraft não-branqueadas de dois tipos: normalmente deslignificada e pouco deslignificada. Os resultados indicam, que uma folha de papel para impressão de jornais de

boa qualidade podia ser produzida, usando até 10 % da polpa sulfato não-branqueada e ligeiramente deslignificada.

McEWEN e SHELDON (1952) referiram-se à possibilidade de se branquear misturas de celuloses sulfito, ao transformá-las em folhas, usando-se solução líquida de  $H_2O_2$  e  $Na_4P_2O_7$  a um pH de 9,0 a 11,5.

ARONOVSKY et alii (1952) realizaram um cozimento com 12 % de NaOH por 35 minutos à temperatura de 95 a 98 °C, para produção de celulose a partir de palha de trigo. A polpa obtida foi tostada, visando-se substituir uma parte da celulose de madeira, em diferentes tipos de papel. A adição de polpa de palha à mistura de celulose resultava em ligeira melhoria da formação das folhas e das resistências à tração, arrebitamento e dobramento, enquanto a resistência ao rasgo piorava.

Em trabalho de pesquisa realizado por BOUCHAYER (1962), celuloses de madeira de coníferas (celuloses kraft e biosulfito) foram refinadas separadamente e em mistura. Folhas de papel das misturas de celulose foram formadas em laboratório para testes. Observou-se que os dois tipos de refino não traziam diferenças significativas na qualidade do papel. As diferenças observadas nas resistências à tração, estouro e dobramento e na permeabilidade ao ar, eram pequenas. A resistência ao rasgo pareceu ser a propriedade mais afetada pelos tipos de refino. Quando o autor tentou a mistura de fibras curtas (bétula e castanheira) às celuloses de fibras longas, notou-se que o refino em separado mostrou ligeira vantagem. O autor mencionou porém, que em refinados de misturas de polpas, o consumo específico de energia é 15 a 25 % mais baixo, e por essa razão, essa maneira de operação deve ser considerada. Para pequenas unidades de produção, a operação de refino conjunto faz a instalação mais simples, desde que a mistura possa ser feita imediatamente após a produção de celulose.

FOELKEL e BARRICHELO (1974) estudaram as variações das propriedades de uma celulose kraft de Araucaria angustifolia, quando essa era parcialmente substituída por celulose sulfato de Eucalyptus saligna nas proporções de 10, 20 e 30 %. Com base nos resultados obtidos, concluiu-se que tais misturas melhoravam a qualidade do produto final em termos de



resistência à tração e ao arrebentamento, não afetando o peso específico aparente e prejudicando porém, a resistência ao rasgo.

BLOMQUIST (1962) realizou refinamentos de celulose de bétula e pinus de duas formas: conjuntamente e em separado. Praticamente os mesmos resultados foram encontrados em ambos os casos.

Resultados ligeiramente diferentes dos anteriores foram obtidos por PECKMAN e MAY, 1939. Amostras de duas polpas kraft branqueadas, uma obtida de pinus do sul dos Estados Unidos e outra de madeira de folhosa, foram refinadas em separado e misturadas. A mistura foi realizada na proporção de 40 % de celulose de fibra curta e 60 % de celulose de fibra longa. Os resultados mostraram que o refino das duas polpas em separado, com posterior mistura, davam ligeira vantagem em termos da qualidade do papel produzido.

Depois de refinar duas polpas de madeira de conífera e duas polpas de madeira de folhosa separadamente, ARLÖV (1963), produziu folhas das polpas individuais e de combinações de todas as polpas. Tendo em vista as diferenças observadas, principalmente nas resistências ao rasgo das folhas formadas, o autor concluiu que a mistura de fibras de diferentes características oferecem crescentes possibilidades de produção de papel feitos sob medida para seu uso final.

FOELKEL e BARRICHELO (1975) executaram um trabalho que fez parte de uma série de pesquisas, onde foram realizados estudos sobre misturas de celuloses obtidas a partir de matérias-primas fibrosas usadas no Brasil. Especificamente, foram estudadas as variações das propriedades físico-mecânicas de misturas de celuloses sulfato de Eucalyptus saligna e Pinus caribaea var. caribaea. De posse dos resultados, os autores concluíram que houve um pronunciado aumento da resistência ao rasgo e que a espessura da folha decresceu linearmente com o aumento do teor da celulose de Pinus caribaea. Como conclusão, afirmaram que as misturas de fibras de características diferentes parecem oferecer grandes possibilidades de se produzir papéis com propriedades pré-estabelecidas.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

O material básico para a pesquisa era constituído de dois tipos de madeira. A madeira de folhosa foi obtida em plantação de Eucalyptus urophylla, de origem híbrida, com 7 anos de idade, localizada na região de Santa Bárbara, Minas Gerais. A amostra de madeira coletada representava uma média de dez árvores, escolhidas ao acaso na plantação. A madeira de conífera foi obtida em plantação de Pinus strobus var. chiapensis, com 10 anos de idade, que se encontra em área pertencente ao "campus" da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, Minas Gerais.

Devido à carência de literatura que trouxesse informações sobre a madeira de Pinus strobus var. chiapensis, considerou-se necessário um estudo sobre a caracterização de sua madeira. Tendo em vista esse fato, procedeu-se de forma mais rigorosa para se amostrar árvores que representassem o desenvolvimento da espécie na plantação. No povoamento, delimitou-se uma área que continha 40 árvores, e nessas, determinou-se a média dos diâmetros à altura do peito ( $\overline{DAP}$ ) e o respectivo erro padrão da média ( $s_{\overline{x}}$ ). Com base nesses valores, numeraram-se todas as árvores, dentre as quarenta, que tinham um DAP compreendido no seguinte intervalo:  $DAP = \overline{DAP} \pm 0,25 s_{\overline{x}}$ . A seguir, foram sorteadas dez dessas árvores e eliminadas as que apresentavam piores características fenotípicas. Após um novo sorteio foram escolhidas cinco árvores, as quais foram derruba

das e tiveram suas alturas comerciais determinadas. A partir da base e até um diâmetro mínimo de 7 cm, foram retirados discos, de aproximadamente 3 cm de espessura, nas seguintes posições: base, DAP e a 25, 50, 75 e 100 % da altura comercial. Esses discos tiveram seus diâmetros médios, com e sem casca, determinados, e a seguir, serviram como material para se determinar a densidade básica e dimensões das fibras da espécie em questão.

Através de uma cubagem rigorosa das toras seccionadas e das dimensões dos discos, foi possível se determinar alguns parâmetros silviculturais, que caracterizassem o material (Quadro 4).

QUADRO 4 - Parâmetros Dendrométricos de Pinus strobus var. chiapensis com 10 Anos de Idade

Parâmetros	Árvore					Média
	1	2	3	4	5	
Altura comercial, m	14,00	15,80	15,40	12,90	15,62	14,66
DAF, cm:						
- com casca	19,10	22,20	22,50	19,50	22,80	21,22
- sem casca	17,30	20,45	20,30	18,42	21,75	19,66
Volume real comercial, m <sup>3</sup> :						
- com casca	0,2373	0,3241	0,3058	0,1500	0,3438	0,2659
- sem casca	0,2023	0,2935	0,2693	0,1371	0,2680	0,2441
Fator de forma, $f_v$	64,27	52,99	50,02	52,97	53,95	54,33
Teor de casca, %	18,33	9,41	11,94	15,70	22,05	14,55
Teor de, %						
- carne	-	10,12	13,13	6,73	17,56	12,37
- alburno	-	89,87	86,86	91,20	82,51	87,63

As toras restantes foram descascadas, seccionadas de forma a apresentarem comprimentos de aproximadamente um metro e reduzidas a cavacos em picador industrial. Os cavacos foram perfeitamente homogeneizados, secados ao ar e armazenados em sacos plásticos para evitar oscilações em seu teor de umidade.

Procedimento idêntico, no que diz respeito à preparação dos cavacos, foi adotado no caso das toras descascadas de Eucalyptus urophylla. Nesta madeira, procedeu-se a apenas algumas determinações sobre sua qualidade.

### 3.1. Determinação da Densidade Básica das Madeiras

No caso do material de Pinus strobus var. chiapensis, determinou-se a densidade básica das amostras de madeira e casca, com base no método da balança hidrostática. Esse método é aplicável para fragmentos grandes de madeira e se baseia no uso de uma balança hidrostática para se calcular o volume da peça de madeira saturada em água. A fórmula para se determinar a densidade básica é a seguinte:

$$d_b = \frac{\text{Pa.s.}}{P_u - P_i}$$

onde

$$d_b = \text{densidade básica, em g/cm}^3$$

Pa.s. = peso absolutamente seco do material, definido como o peso seco em estufa a  $105^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ , em gramas

$P_u$  = peso da madeira saturada em água, em gramas

$P_i$  = peso da madeira saturada imersa em água, em gramas

Determinou-se a densidade básica da madeira integral, alburno e cerne do Pinus strobus, às diferentes alturas consideradas na pesquisa, obtendo-se a seguir a média para cada árvore.

A densidade básica de amostras de casca foi também determinada por esse método.

Para o material de Eucalyptus urophylla, que se encontrava na forma de cavacos, optou-se pelo método do máximo teor de umidade para a determinação da densidade básica. Nesse caso, a fórmula para se determinar a densidade básica obedece a seguinte relação:

$$d_b = \frac{1}{\frac{P_u}{Pa.s.} - 0,346}$$

onde:

$d_b$  = densidade básica, em g/cm<sup>3</sup>

$P_u$  = peso da madeira saturada em água e livre de excesso de água superficial, em gramas.

Pa.s. = peso absolutamente seco dos cavacos, em gramas.

### 3.2. Determinação das Dimensões das Fibras das Madeiras

Há algum tempo se reconhece a importância das dimensões fundamentais dos elementos anatômicos das madeiras para a produção de celulose e papel. Em razão disso, as fibras de P. strobus e E. urophylla foram medidas para as seguintes dimensões: comprimento, largura, diâmetro do lúmen e espessura da parede celular.

Em alguns casos, as relações entre as dimensões fundamentais das fibras têm sido relatadas como de máxima valia para a interpretação da qualidade das mesmas para a produção de celulose e papel. Desse modo, as seguintes relações entre as dimensões fundamentais foram calculadas:

a) índice de enfiamento: definido como a relação entre o comprimento e a largura da fibra;

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

c) fração parede: definida como a relação porcentual entre a espessura da parede e o raio da fibra;

d) índice de Runkel: definido como a relação entre a espessura da parede e o raio do lúmen da fibra.

As amostras de madeira foram maceradas em solução nítrica/acética a quente, contendo cinco partes de ácido acético glacial e uma parte de ácido nítrico concentrado. O comprimento das fibras foi medido por projeção e as demais dimensões foram medidas em microscópio ótico dotado de ocular micrométrica. Para cada material, foram medidas 300 fibras.

### 3.3. Determinação da Composição Química das Madeiras

Amostras das madeiras de P. strobus e E. urophylla foram transformadas em serragem, e nessas foram realizadas análises para avaliação das suas composições químicas. Utilizaram-se para as determinações e preparo da serragem, métodos da Technical Association of the Pulp and Paper Industry - TAPPI. As seguintes análises foram realizadas: solubilidade da madeira em água quente, água fria, NaOH 1 % e álcool/benzeno; teores de holocelulose, pentosanas, lignina e cinzas.

### 3.4. Misturas das Madeiras para Produção de Celulose

O preparo das misturas das madeiras de P. strobus e E. urophylla obedeceu a proporção ponderal para as seguintes relações: 0 % de cavacos de P. strobus, ou seja, 100 % de cavacos de E. urophylla; 33,33 % de P. strobus e o restante de E. urophylla; 66,66 % de P. strobus e o restante de E. urophylla, e por fim, 100 % de P. strobus, ou seja, 0 % de E. urophylla.

As diversas dosagens, para fins de facilitar a apresentação e discussão dos resultados, foram convencionadas como se segue: 0; 33,33; 66,66 e 100 % Pinus.

### 3.5. Produção de Celulose

Para produção de celulose, adotou-se o processo químico alcalino sulfato ou kraft, devido ao fato desse ser o processo dominante no Brasil para a conversão da madeira a celulose.

Como as duas madeiras eram reconhecidamente diferentes quanto a anatomia e composição química, decidiu-se testar diferentes condições de cozimento para se proceder à deslignificação das quatro misturas. Foram assim adotadas as seguintes condições variáveis no cozimento:

- Álcali ativo: 14 e 16 % de  $\text{Na}_2\text{O}$ , base madeira a.s.

- Fator H: 900 e 1100

As demais condições foram mantidas fixas, como se segue:

- Sulfidez = 25 %

- Temperatura máxima:  $170^{\circ}\text{C}$

- Tempo até temperatura máxima = 90 min.

- Relação licor/madeira = 4 : 1

Os cozimentos foram realizados em digestor descontínuo de laboratório, rotativo a 2 - 3 rpm, com capacidade de 20 litros, aquecimento elétrico, e dotado de termômetro e manômetro. A quantidade de cavacos por cozimento foi o equivalente a 500 gramas de madeira a.s. Como foram adotadas três repetições para cada um dos dezesseis tratamentos (4 misturas x 2 níveis de álcali ativo x 2 níveis de fator H), necessitou-se um total de 48 parcelas para a realização da pesquisa.

As condições que definiam cada tratamento estão apresentadas no Quadro 5.



QUADRO 5 - Definição dos Tratamentos

Variáveis	Tratamentos															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Porcentagem em peso a.s. de <u>Pinus strobus</u> var. <u>chiapensis</u>	0	33,33	66,66	100	0	33,33	66,66	100	0	33,33	66,66	100	0	33,33	66,66	100
Porcentagem em peso a.s. de <u>Eucalyptus urophylla</u> de origem híbrida	100	66,66	33,33	0	100	66,66	33,33	0	100	66,66	33,33	0	100	66,66	33,33	0
Alcali ativo % Na <sub>2</sub> O base madeira a.s.	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16	16	16	16	16	16	16
Fator H	900	900	900	900	1100	1100	1100	1100	900	900	900	1100	1100	1100	1100	1100

Ao término de cada cozimento, despressurizava-se e descarregava-se o digestor, de tal forma que os cavacos pudessem ser recebidos em uma peneira de malha fina para posterior individualização das fibras em um desfibrador de discos. A seguir a polpa era lavada e depurada em uma peneira com malhas de  $0,9 \times 0,9$  mm, para a remoção dos rejeitos.

Os rejeitos retidos na peneira durante a depuração eram secados em estufa a  $105^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ . A relação percentual entre o peso a.s. de rejeitos e o peso a.s. de madeira era calculada e definida como o teor de rejeitos.

O rendimento depurado em celulose era calculado pela relação entre o peso a.s. de celulose e o peso a.s. de madeira, expresso em porcentagem. Pela soma do rendimento depurado ao teor de rejeitos, determinava-se o rendimento bruto.

### 3.6. Determinação do Número Kappa das Celuloses

O número kappa foi determinado de acordo com o método TAPPI T 236 m - 60.

### 3.7. Determinação da Viscosidade das Celuloses

A viscosidade foi determinada sobre as celuloses não-branqueadas de acordo com o método TAPPI T 230 su - 63.

### 3.8. Preparo das Celuloses para Ensaio Físico-Mecânicos

#### 3.8.1. Refino ou Moagem

A celulose depurada foi refinada em moinho Jokro Muhle, utilizando-se o equivalente a 20 gramas a.s. por panela, a uma consistência de 5 %. Foram adotados cinco tempos de refino por celulose, incluindo-se o nível zero de refino. O tempo de refino era medido em minutos.

O grau de refino era determinado como grau Schopper Riegler, de acordo com o método ABCP C 10/73.

### 3.8.2. Formação de Folhas para Ensaio

A formação de folhas, com gramatura de aproximadamente  $60 \text{ g/m}^2$ , se deu em formador tipo Koethen Rapid, com 2 secadores. Foram confeccionadas 9 folhas para cada tempo de refino, ou seja 45 folhas por cozimento, num total de 2.160 folhas para todo o trabalho.

### 3.8.3. Acondicionamento das Folhas

Para evitar os efeitos de variações ambientais sobre os resultados dos ensaios físico-mecânicos, as folhas destinadas aos testes foram acondicionadas durante 48 horas em ambiente climatizado à temperatura de  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa de  $65\% \pm 2\%$ , de acordo com o preconizado pela A.B.N.T. (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

## 3.9. Ensaio Físico-Mecânicos

Os seguintes ensaios físico-mecânicos foram realizados e calculados conforme o método TAPPI T 220 m - 60:

- resistência à tração: expressa como comprimento de auto-ruptura, em quilômetros;
- resistência ao arrebatamento: expressa pelo índice de arrebatamento;
- resistência ao rasgo: expressa pelo índice de rasgo;
- esticamento: expresso em percentagem;
- densidade aparente: expressa em gramas por centímetro cúbico;
- volume específico aparente: expresso em centímetros cúbicos por grama.

### 3.10. Análise Estatística dos Resultados

Para o estudo das propriedades das celuloses, tais como, rendimentos, teor de rejeitos, número kappa e viscosidade, os tratamentos foram dispostos segundo um esquema fatorial  $4 \times 2 \times 2$ , para os fatores porcentagem de madeira de Pinus strobus (P), fator H (H) e álcali ativo (A), respectivamente, em um delineamento inteiramente casualizado, com 3 repetições.

Com o objetivo de comparar os resultados dos ensaios físico-mecânicos, esses foram graficamente interpolados para os graus de refino de 20, 40 e 60<sup>o</sup> SR.

Para o estudo das propriedades físico-mecânicas, os tratamentos foram também dispostos em um esquema fatorial, do tipo  $4 \times 2 \times 2 \times 3$ , para os fatores porcentagem de madeira de Pinus strobus (P), fator H (H), álcali ativo (A) e grau de refino (<sup>o</sup>SR), respectivamente, em um delineamento inteiramente casualizado, com 3 repetições.

Para todos os casos, foram efetuadas análises da variância e as comparações de médias foram feitas através da aplicação do teste de Tukey e do teste F, ao nível de 1 % de significância.

Para facilitar a apresentação dos resultados, adotaram-se as seguintes simbologias para o fator H, álcali ativo e grau Schopper Riegler: fator H 900 = H 900; fator H 1100 = H 1100; álcali ativo 14 % = 14 % Na<sub>2</sub>O; álcali ativo 16 % = 16 % Na<sub>2</sub>O; grau Schopper Riegler 20 = 20<sup>o</sup> SR; grau Schopper Riegler 40 = 40<sup>o</sup> SR e grau Schopper Riegler 60 = 60<sup>o</sup> SR.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

##### 4.1. Densidade Básica

Os resultados para a variação da densidade básica da madeira e casca do Pinus strobus var. chiapensis encontram-se apresentados no Quadro 6. Para o E. urophylla, os resultados da densidade básica dos cavacos acham-se mostrados no Quadro 7.

QUADRO 6 - Variação da Densidade Básica da Madeira e Casca de Pinus strobus var. chiapensis (g/cm<sup>3</sup>)

Densidade Básica	Árvore					MÉDIA
	1	2	3	4	5	
Madeira integral	0,340	0,363	0,370	0,349	0,304	0,361
Cerne	0,343	0,369	0,398	0,392	0,392	0,380
Alburno	0,326	0,359	0,369	0,348	0,372	0,355
Casca	0,307	-	0,284	0,269	0,272	0,278

QUADRO 7 -- Densidade Básica dos Cavacos de Madeira de Eucalyptus urophylla (g/cm<sup>3</sup>)

Amostras	1	2	3	4	5	6	MÉDIA
Densidade Básica	0,503	0,494	0,453	0,495	0,505	0,524	0,503

De um modo geral, as árvores jovens de coníferas apresentam a região central do caule constituída de madeira juvenil de baixa densidade. Entretanto, o material de P. strobus já apresentava cerne. Esse possuía densidade básica média superior à do alburno. A casca das árvores, por se constituir em material poroso e leve, mostrou densidade inferior em relação à madeira. Os resultados médios para as densidades básicas, encontradas para o P. strobus, estão de acordo com valores relatados para madeiras de outras pináceas exóticas plantadas no Brasil (FOELKEL e DARRICHELO, 1975).

Da mesma forma que costuma acontecer quando se comparam densidades básicas de madeiras de eucaliptos e pinheiros, a madeira do E. urophylla mostrou maior densidade que a do P. strobus.

#### 4.2. Dimensões das Fibras

Os resultados referentes às dimensões das fibras encontram-se no Quadro 8.

QUADRO 8 -- Dimensões das Fibras de Pinus strobus e Eucalyptus urophylla

Dimensões	<u>P. strobus</u>	<u>E. urophylla</u>
Comprimento, mm	4,23	0,99
Largura, $\mu$	60,08	17,50
Diâmetro do lúmen, $\mu$	50,43	9,65
Espessura da parede, $\mu$	5,12	3,92

Os resultados revelaram fibras longas e largas para o P. strobus, mostrando a alta proporção de fibras de lenho inicial de paredes delgadas e de alta flexibilidade. Os resultados obtidos para o E. urophylla mostraram-se perfeitamente de acordo com o usual para a espécie.

#### 4.3. Relações entre as Dimensões Fundamentais das Fibras

No Quadro 9 estão apresentados os valores para as relações entre as dimensões fundamentais das fibras.

QUADRO 9 - Relações entre as Dimensões Fundamentais das Fibras de P. strobus e E. urophylla

Relações	<u>P. strobus</u>	<u>E. urophylla</u>
Índice de enfieltramento	63,4	56,6
Índice de Runkel	0,18	0,81
Coefficiente de flexibilidade, %	84,6	55,2
Fração parede, %	15,4	44,8

O índice de enfieltramento para as fibras de P. strobus apresentou ligeira superioridade ao de E. urophylla. Em geral, admite-se, que essa relação não possui ampla variação, pois normalmente fibras mais longas são também mais largas. Por outro lado, existem algumas referências (FOLKEL, 1977) que associam o índice de enfieltramento à resistência ao rasgo e ao arrebatamento. Torna-se difícil, no presente trabalho, concluir se as diferenças observadas serão suficientes para causar comportamento distinto às fibras.

Já o coeficiente de flexibilidade mostrou-se bem superior para as fibras de P. strobus em comparação às de E. urophylla. Isso sugere uma boa habilidade de inter-ligação para suas fibras, quando se formarem folhas de papel. As fibras de E. urophylla com menor coeficiente de flexibilidade e maior fração parede deverão mostrar-se mais rígidas e compor fo

lhas mais porosas e volumosas. Entretanto essas observações dependem sobretudo de como as fibras se comportam com o desenvolver do refino.

#### 4.4. Composição Química das Madeiras

Os resultados das análises químicas das madeiras estão apresentados no Quadro 10.

QUADRO 10 - Composição Química das Madeiras de P. strobus e E. urophylla

Análise	<u>P. strobus</u>	<u>E. urophylla</u>
Solubilidade em:		
- água fria	1,9	0,8
- água quente	2,2	1,8
- NaOH 1 %	10,9	11,4
- álcool/benzenc	4,0	2,2
Teor de		
- holocelulose	55,0	74,2
- pentosanas	8,0	14,8
- lignina	24,9	18,0
- cinzas	0,10	0,26

O conhecimento da natureza química da madeira é importante, pois se relaciona com as exigências e com o comportamento da mesma na deslignificação para produção e branqueamento de celulose.

A madeira de P. strobus se caracterizou por apresentar menor solubilidade em soda caustica a 1 %, menores teores de holocelulose, pentosanas e cinzas e maior teor de lignina, quando comparada à madeira de E. urophylla. Isso sugere que sua madeira deve-se deslignificar mais dificilmente que a de E. urophylla, conduzindo a menores rendimentos em celulose, devido ao maior teor de lignina.



#### 4.5. Deslignificação das Madeiras

Dentro desse ítem procurou-se estudar as seguintes propriedades na deslignificação das madeiras para conversão a celulose kraft: rendimento bruto, rendimento depurado, teor de rejeitos e número kappa.

##### 4.5.1. Rendimento Bruto em Celulose

Os valores relativos a rendimento bruto, expressos em porcentagem, bem como suas análises estatísticas, aparecem nos Quadros 11 a 15.

QUADRO 11 - Rendimento Bruto das Celuloses (%)

Tratamentos	Repetição			Média
	1. <sup>a</sup>	2. <sup>a</sup>	3. <sup>a</sup>	
14 % Na <sub>2</sub> O; H 900				
- 0 % <u>Pinus</u>	52,0	53,6	52,6	52,7
- 33,33 % <u>Pinus</u>	54,5	51,6	52,4	52,9
- 66,66 % <u>Pinus</u>	52,8	52,0	52,4	52,4
- 100 % <u>Pinus</u>	50,9	51,8	52,4	51,7
14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100				
- 0 % <u>Pinus</u>	51,1	51,2	49,7	50,7
- 33,33 % <u>Pinus</u>	49,3	50,1	49,3	49,6
- 66,66 % <u>Pinus</u>	50,0	47,2	50,4	49,2
- 100 % <u>Pinus</u>	52,0	50,2	53,5	52,9
16 % Na <sub>2</sub> O; H 900				
- 0 % <u>Pinus</u>	49,4	49,3	48,0	48,9
- 33,33 % <u>Pinus</u>	46,1	50,0	49,5	48,8
- 66,66 % <u>Pinus</u>	49,8	50,9	49,9	50,2
- 100 % <u>Pinus</u>	49,2	51,3	50,4	50,3
16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100				
- 0 % <u>Pinus</u>	43,5	50,0	50,8	49,8
- 33,33 % <u>Pinus</u>	47,1	49,2	47,7	47,7
- 66,66 % <u>Pinus</u>	44,1	44,7	43,4	44,1
- 100 % <u>Pinus</u>	44,4	44,7	44,5	44,5

QUADRO 12 - Análise da Variância para Rendimento Bruto

Fonte de Variação	GL	QM	F
% <u>Pinus</u> (P)	3	4,7931	4,09
Fator H (H)	1	72,1043	61,55**
Álcali ativo (A)	1	145,2900	124,03**
P x H	3	8,4033	7,17**
P x A	3	3,5049	2,99
H x A	1	4,4105	3,76
P x H x A	3	16,3722	13,98**
Erro	32	1,1714	
Total	47		

C.V. = 2,17 %

\*\* Significativo, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 13 - Efeito da Porcentagem de Pinus (P), Fator H (H) e Álcali Ativo (A) sobre o Rendimento Bruto, de Acordo com o Desdobramento da Interação P x H x A

Fonte de Variação	GL	QM	F
% <u>Pinus</u> /14 % Na <sub>2</sub> O; H 900	3	0,8300	0,72
% <u>Pinus</u> /14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	3	8,3400	7,12**
% <u>Pinus</u> /16 % Na <sub>2</sub> O; H 900	3	2,0000	1,71
% <u>Pinus</u> /16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	3	21,9300	18,72**
Fator H/14 % Na <sub>2</sub> O; 0 % <u>Pinus</u>	1	6,3446	5,42
Fator H/14 % Na <sub>2</sub> O; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	16,7001	14,25**
Fator H/14 % Na <sub>2</sub> O; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	15,2961	13,06**
Fator H/14 % Na <sub>2</sub> O; 100 % <u>Pinus</u>	1	2,1902	1,87
Fator H/16 % Na <sub>2</sub> O; 0 % <u>Pinus</u>	1	1,0038	0,92
Fator H/16 % Na <sub>2</sub> O; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	1,8010	1,61
Fator H/16 % Na <sub>2</sub> O; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	56,7330	48,43**
Fator H/16 % Na <sub>2</sub> O; 100 % <u>Pinus</u>	1	50,6342	43,22**
Álcali/ H 900; 0 % <u>Pinus</u>	1	21,7742	18,58**
Álcali/ H 900; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	25,2150	21,52**
Álcali/ H 900; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	7,1942	6,14
Álcali/ H 900; 100 % <u>Pinus</u>	1	2,8500	2,44
Álcali/ H 1100; 0 % <u>Pinus</u>	1	1,2150	1,04
Álcali/ H 1100; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	5,3016	4,52
Álcali/ H 1100; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	39,7830	33,96**
Álcali/ H 1100; 100 % <u>Pinus</u>	1	105,8400	90,35**
Erro	32	1,1714	

\*\* Significativo, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 14 - Comparações, pelo Teste de Tukey, para os Valores Médios do Rendimento Bruto em Celulose, na Interação P x H x A: Influência da Porcentagem de Pinus

	<u>Pinus</u> (%)			
	0	33,33	66,66	100
14 % Na <sub>2</sub> O; H 900	52,7 a*	52,0 a	52,4 a	51,7 a
14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	50,7 ab	49,6 b	49,2 b	52,9 a
16 % Na <sub>2</sub> O; H 900	48,9 a	48,8 a	50,2 a	50,3 a
16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	49,8 a	47,7 a	44,7 b	44,5 b

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 15 - Comparações para os Valores Médios do Rendimento Bruto, na Interação P x H x A: Influência de Fator H

	Fator H	
	900	1100
0 % <u>Pinus</u> ; 14 % Na <sub>2</sub> O	52,7 a*	50,7 a
0 % <u>Pinus</u> ; 16 % Na <sub>2</sub> O	48,9 a	49,8 a
33,33 % <u>Pinus</u> ; 14 % Na <sub>2</sub> O	52,9 a	49,6 b
33,33 % <u>Pinus</u> ; 16 % Na <sub>2</sub> O	48,8 a	47,7 a
66,66 % <u>Pinus</u> ; 14 % Na <sub>2</sub> O	52,4 a	49,2 b
66,66 % <u>Pinus</u> ; 16 % Na <sub>2</sub> O	50,2 a	44,7 b
100 % <u>Pinus</u> ; 14 % Na <sub>2</sub> O	51,7 a	52,9 a
100 % <u>Pinus</u> ; 16 % Na <sub>2</sub> O	50,3 a	44,5 b

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste F, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 16 - Comparações para os Valores Médios do Rendimento Bruto, na Interação P x H x A: Influência do Álcali Ativo

	Álcali ativo, base Na <sub>2</sub> O (%)	
	14	16
0 % <u>Pinus</u> ; H 900	52,7 a*	48,9 b
0 % <u>Pinus</u> ; H 1100	50,7 a	49,8 a
33,33 % <u>Pinus</u> ; H 900	52,9 a	48,8 b
33,33 % <u>Pinus</u> ; H 1100	49,6 a	47,7 a
66,66 % <u>Pinus</u> ; H 900	52,4 a	50,2 a
66,66 % <u>Pinus</u> ; H 1100	49,2 a	44,7 b
100 % <u>Pinus</u> ; H 900	51,7 a	50,3 a
100 % <u>Pinus</u> ; H 1100	52,9 a	44,5 b

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste F, ao nível de 1 % de probabilidade.

A análise da variância para rendimento bruto, apresentada no Quadro 12, mostrou efeito significativo para fator H e álcali ativo, mas não se constatou influência significativa da porcentagem de cavacos de Pinus strobus. Entretanto, a interação P x H foi significativa, bem como a interação P x H x A.

O desdobramento da interação de terceira ordem no Quadro 13 permitiu individualização de efeitos significativos em diversas situações. Quando se variou a porcentagem de cavacos de Pinus dentro de níveis pré-fixados de álcali ativo e fator H, observou-se que o rendimento bruto era alterado significativamente apenas quando se trabalhava com fator H 1100 na desdesignificação. Observa-se no Quadro 14 que na condição de cozimento pré-fixado de 14 % Na<sub>2</sub>O e fator H 1100, notou-se maiores rendimentos para os tratamentos onde se usavam madeiras puras em relação às misturas. Já a 16 % Na<sub>2</sub>O e H 1100, conforme se aumentava a dosagem de cavacos de Pinus na mistura, observava-se uma queda progressiva de rendimento bruto.

Talvez não se tenham notados efeitos significativos para porcentagem de Pinus para os cozimentos com fator H 900, pelo fato dessa condição ser favorável aos cavacos de Eucalyptus, mas insuficiente para os cavacos de Pinus.

Quando se variou o fator H de 900 para 1100 dentro de níveis pré-estabelecidos de álcali ativo e de porcentagem de cavacos de Pinus strobus, notou-se efeito significativo nas seguintes condições (Quadro 13 e 15):

a) dentro do álcali ativo 14 %  $\text{Na}_2\text{O}$  para as porcentagens 33,33 % e 66,66 % de Pinus;

b) dentro do álcali ativo 16 %  $\text{Na}_2\text{O}$  para as porcentagens 66,66 % e 100 % de Pinus.

Em ambos os casos, a elevação do fator H correspondia a uma diminuição significativa do rendimento bruto. É possível que o fenômeno se associe tanto às diferentes taxas de deslignificação que as madeiras apresentam, quanto ao fato de se ter alcançado, no caso de 100 % de Pinus, de condições mais adequadas de cozimento.

Por outro lado, a variação do nível de álcali ativo de 14 para 16 %  $\text{Na}_2\text{O}$  mostrou efeitos significativos nos seguintes casos (Quadro 13 e 16):

a) para fator H 900, nas proporções de 0 e 33,33 % de Pinus;

b) para fator H 1100, nas proporções de 66,66 % e 100 % de Pinus.

Observou-se que o aumento do álcali ativo tinha maior ação sobre a diminuição do rendimento bruto, quando se trabalhava ou com pequenas quantidades de cavacos de Pinus misturados aos de Eucalyptus ou vice-versa. Nesses casos, notava-se o efeito significativo do álcali ativo apenas quando este se combinava com o nível mais indicado de fator H para o Eucalyptus (H 900) ou para o Pinus (H 1100).

Em todos os casos, os maiores rendimentos brutos eram obtidos nas condições mais suaves de cozimento, sendo que os aumentos do álcali ativo e do fator H correspondiam às quedas do rendimento bruto.

4.5.2. Rendimento Depurado em Celulose

Os valores relativos a rendimento depurado, expressos em porcentagem, e suas análises estatísticas, estão apresentados nos Quadros 17 a 22.

QUADRO 17 - Rendimento Depurado das Celulosas (%)

Tratamentos	Repetição			Média
	1. <sup>a</sup>	2. <sup>a</sup>	3. <sup>a</sup>	
14 % Na <sub>2</sub> O; H 900				
- 0 % <u>Pinus</u>	49,8	51,5	50,3	50,6
- 33,33 % <u>Pinus</u>	48,9	44,0	46,0	46,5
- 66,66 % <u>Pinus</u>	43,2	43,3	43,0	43,2
- 100 % <u>Pinus</u>	44,3	43,3	43,9	43,7
14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100				
- 0 % <u>Pinus</u>	48,9	43,2	46,5	47,9
- 33,33 % <u>Pinus</u>	44,4	45,0	44,5	44,6
- 66,66 % <u>Pinus</u>	43,8	42,0	45,7	43,8
- 100 % <u>Pinus</u>	41,6	43,4	43,1	42,7
16 % Na <sub>2</sub> O; H 900				
- 0 % <u>Pinus</u>	48,0	48,7	47,3	48,2
- 33,33 % <u>Pinus</u>	43,6	47,6	46,3	45,8
- 66,66 % <u>Pinus</u>	44,0	44,9	43,6	44,2
- 100 % <u>Pinus</u>	43,5	44,1	44,1	43,4
16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100				
- 0 % <u>Pinus</u>	48,0	49,4	50,2	49,2
- 33,33 % <u>Pinus</u>	45,0	45,7	46,1	45,9
- 66,66 % <u>Pinus</u>	41,9	41,2	41,6	41,9
- 100 % <u>Pinus</u>	41,7	43,3	41,8	41,8



QUADRO 18 - Análise da Variância para Rendimento Depurado

Fonte de Variação	GL	QM	F
% <u>Pinus</u> (P)	3	91,6401	78,05**
Fator H (H)	1	12,5456	10,68**
Álcali ativo (A)	1	0,7154	0,61
P x H	3	0,3329	0,28
P x A	3	0,4490	0,38
H x A	1	0,4294	0,36
P x H x A	3	6,5201	5,55**
Erro	32	1,1740	
Total	47		

C.V. = 2,39 %

\*\* Significativo, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 19 - Efeito da Porcentagem de Pinus (P), Fator H (H) e Álcali Ativo (A) sobre o Rendimento Depurado, de Acordo com o Desdobramento da Interação P x H x A

Fonte de Variação	GL	QM	F
% <u>Pinus</u> /14 % Na <sub>2</sub> O; H 900	3	34,3073	29,29**
% <u>Pinus</u> /14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	3	14,8107	12,62**
% <u>Pinus</u> /16 % Na <sub>2</sub> O; H 900	3	12,0062	10,23**
% <u>Pinus</u> /16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	3	37,7103	32,12**
Fator H/14 % Na <sub>2</sub> O; 0 % <u>Pinus</u>	1	10,6934	9,11**
Fator H/14 % Na <sub>2</sub> O; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	5,2454	4,47
Fator H/14 % Na <sub>2</sub> O; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	0,6534	0,56
Fator H/14 % Na <sub>2</sub> O; 100 % <u>Pinus</u>	1	1,3624	1,18
Fator H/16 % Na <sub>2</sub> O; 0 % <u>Pinus</u>	1	1,2693	1,08
Fator H/16 % Na <sub>2</sub> O; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	0,0150	0,01
Fator H/16 % Na <sub>2</sub> O; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	7,7976	6,64
Fator H/16 % Na <sub>2</sub> O; 100 % <u>Pinus</u>	1	6,4893	5,53
Álcali/H 900; 0 % <u>Pinus</u>	1	7,9300	6,76
Álcali/H 900; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	0,6534	0,56
Álcali/H 900; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	1,5302	1,30
Álcali/H 900; 100 % <u>Pinus</u>	1	0,0720	0,06
Álcali/H 1100; 0 % <u>Pinus</u>	1	2,4902	2,12
Álcali/H 1100; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	2,5742	2,19
Álcali/H 1100; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	5,5074	4,76
Álcali/H 1100; 100 % <u>Pinus</u>	1	1,2150	1,04
Erro	32	1,1740	

\*\* Significativo, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 20 - Comparações, pelo Teste de Tukey, para os Valores Médios do Rendimento Depurado em Celulose, na Interação P x H x A: Influência da Porcentagem de Pinus

	<u>Pinus (%)</u>			
	0	33,33	66,66	100
14 % Na <sub>2</sub> O; H 900	50,6 a*	46,5 b	43,2 c	43,7 bc
14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	47,9 a	44,6 b	43,8 b	42,7 b
16 % Na <sub>2</sub> O; H 900	48,2 a	45,8 ab	44,2 b	43,9 b
16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	49,2 a	45,9 b	41,9 c	41,8 c

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 21 - Comparações para os Valores Médios do Rendimento Depurado em Celulose, na Interação P x H x A: Influência do Fator H

	<u>Fator H</u>	
	900	1100
0 % <u>Pinus</u> ; 14 % Na <sub>2</sub> O	50,6 a*	47,9 b
0 % <u>Pinus</u> ; 16 % Na <sub>2</sub> O	48,2 a	49,2 a
33,33 % <u>Pinus</u> ; 14 % Na <sub>2</sub> O	46,5 a	44,6 a
33,33 % <u>Pinus</u> ; 16 % Na <sub>2</sub> O	45,8 a	45,9 a
66,66 % <u>Pinus</u> ; 14 % Na <sub>2</sub> O	43,2 a	43,8 a
66,66 % <u>Pinus</u> ; 16 % Na <sub>2</sub> O	44,2 a	41,9 a
100 % <u>Pinus</u> ; 14 % Na <sub>2</sub> O	43,7 a	42,7 a
100 % <u>Pinus</u> ; 16 % Na <sub>2</sub> O	43,9 a	41,8 a

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste F, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 22 - Comparações para os Valores Médios do Rendimento Depurado em Celulose, na Interação P x H x A: Influência do Álcali Ativo

	Álcali ativo, base Na <sub>2</sub> O (%)	
	14	16
0 % <u>Pinus</u> ; H 900	50,6 a*	48,2 a
0 % <u>Pinus</u> ; H 1100	47,0 a	49,2 a
33,33 % <u>Pinus</u> ; H 900	46,6 a	45,8 a
33,33 % <u>Pinus</u> ; H 1100	44,6 a	45,9 a
66,66 % <u>Pinus</u> ; H 900	43,2 a	44,2 a
66,66 % <u>Pinus</u> ; H 1100	43,8 a	41,9 a
100 % <u>Pinus</u> ; H 900	45,7 a	43,9 a
100 % <u>Pinus</u> ; H 1100	42,7 a	41,8 a

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste F, ao nível de 1 % de probabilidade.

A análise da variância para o rendimento depurado está apresentada no Quadro 18. Nesse quadro pode-se notar o efeito significativo exercido pelos fatores porcentagem de Pinus e fator H sobre o rendimento depurado. Não se constatou efeito significativo do álcali ativo como um todo.

Tendo em vista a significância da interação P x H x A, ela foi desdobrada conforme apresentado no Quadro 19. O desdobramento permitiu conhecer a alta influência da porcentagem de cavacos de Pinus sobre o rendimento depurado, já que seu efeito foi significativo em todos os níveis de fator H e álcali ativo. Em todos os casos, os maiores rendimentos depurados eram obtidos para os cozimentos de cavacos de Eucalyptus urophylla; e conforme se aumentava o teor de madeira de Pinus strobus na mistura, o rendimento depurado diminuía sensivelmente (Quadro 20).

Não foram observados efeitos pronunciados do fator H e do Álcali ativo sobre essa propriedade. Somente em um caso notou-se efeito signifi

cativo do fator H: era quando se variava o fator H para 14 % Na<sub>2</sub>O de álcali ativo, durante o cozimento de cavacos de E. urophylla. Nesse caso, a elevação do fator H de 900 para 1100 provocava uma diminuição do rendimento depurado de 50,6 % para 47,9 % (Quadro 21).

#### 4.5.3. Teor de Rejeitos das Celuloses

Os valores relativos aos teores de rejeitos, expressos em porcentagem, bem como suas análises estatísticas, estão apresentados nos Quadros 23 a 28.

QUADRO 23 - Teor de Rejeitos das Celuloses (%)

Tratamentos	Repetição			Média
	1. <sup>a</sup>	2. <sup>a</sup>	3. <sup>a</sup>	
14 % Na <sub>2</sub> O; H 900				
- 0 % <u>Pinus</u>	2,2	2,1	2,3	2,2
- 33,33 % <u>Pinus</u>	6,0	6,0	6,4	6,4
- 66,66 % <u>Pinus</u>	8,8	8,7	9,4	9,0
- 100 % <u>Pinus</u>	6,6	9,0	8,5	8,0
14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100				
- 0 % <u>Pinus</u>	2,2	3,0	3,2	2,8
- 33,33 % <u>Pinus</u>	4,8	5,1	4,9	4,9
- 66,66 % <u>Pinus</u>	6,2	5,2	4,7	5,4
- 100 % <u>Pinus</u>	10,4	9,8	10,4	10,2
16 % Na <sub>2</sub> O; H 900				
- 0 % <u>Pinus</u>	0,6	0,6	0,7	0,7
- 33,33 % <u>Pinus</u>	2,5	3,2	3,2	3,0
- 66,66 % <u>Pinus</u>	5,7	6,1	6,3	6,0
- 100 % <u>Pinus</u>	5,7	7,2	6,4	6,4
16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100				
- 0 % <u>Pinus</u>	0,6	0,6	0,6	0,6
- 33,33 % <u>Pinus</u>	2,1	1,5	1,6	1,7
- 66,66 % <u>Pinus</u>	2,2	2,4	2,3	2,3
- 100 % <u>Pinus</u>	2,7	2,7	2,7	2,7

QUADRO 24 - Análise da Variância para Teor de Rejeitos

Fonte de Variação	GL	QM	F
% <u>Pinus</u> (P)	3	63,2146	259,96**
Fator H (H)	1	22,7287	93,47**
Álcali ativo (A)	1	121,4440	499,43**
P x H	3	8,2021	33,73**
P x A	3	3,6769	15,12**
H x A	1	7,7844	32,01**
P x H x A	3	6,2652	25,76**
Erro	32	0,2432	
Total	47		

C.V. = 10,91 %

\*\* Significativo, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 25 - Efeito da Percentagem de Pinus (P), Fator H (H) e Álcali A-  
tivo (A) sobre o Teor de Rejeitos, de Acordo com o Desdobra-  
mento da Interação P x H x A

Fonte de Variação	GL	QM	F
% <u>Pinus</u> / 14 % Na <sub>2</sub> O; H 900	3	27,0711	111,33**
% <u>Pinus</u> / 14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	3	29,4117	120,95**
% <u>Pinus</u> / 16 % Na <sub>2</sub> O; H 900	3	22,2614	91,55**
% <u>Pinus</u> / 16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	3	2,5793	10,61**
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 0 % <u>Pinus</u>	1	0,5581	2,29
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	3,3302	13,69**
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	19,2246	79,06**
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 100 % <u>Pinus</u>	1	7,1286	29,31**
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 0 % <u>Pinus</u>	1	0,0096	0,04
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	2,2694	9,33**
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	20,5350	84,45**
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 100 % <u>Pinus</u>	1	20,8694	85,82**
Álcali/ H 900; 0 % <u>Pinus</u>	1	3,4202	14,06**
Álcali/ H 900; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	17,9574	73,84**
Álcali/ H 900; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	12,8774	52,96**
Álcali/ H 900; 100 % <u>Pinus</u>	1	3,7922	15,59**
Álcali/ H 1100; 0 % <u>Pinus</u>	1	7,2600	29,85**
Álcali/ H 1100; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	15,3600	63,17**
Álcali/ H 1100; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	13,9530	57,38**
Álcali/ H 1100; 100 % <u>Pinus</u>	1	84,3750	346,98**
Erro	32	0,2432	

\*\* Significativo, ao nível de 1 % de probabilidade.



QUADRO 26 - Comparações, pelo Teste de Tukey, para os Valores Médios do Teor de Rejeitos das Celuloses, na Interação P x H x A: Influência da Porcentagem de Pinus

	<u>Pinus</u> (%)			
	0	33,33	66,66	100
14 % Na <sub>2</sub> O; H 900	2,2 c*	6,4 b	9,0 a	8,0 a
14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	2,8 c	4,9 b	5,4 b	10,2 a
16 % Na <sub>2</sub> O; H 900	0,7 c	3,0 b	6,0 a	6,4 a
16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	0,6 b	1,7 ab	2,3 a	2,7 a

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 27 - Comparações entre os Valores Médios para o Teor de Rejeitos das Celuloses, na Interação P x H x A: Influência do Fator H

	Fator H	
	900	1100
0 % <u>Pinus</u> ; 14 % Na <sub>2</sub> O	2,2 a*	2,8 a
0 % <u>Pinus</u> ; 16 % Na <sub>2</sub> O	0,7 a	0,6 a
33,33 % <u>Pinus</u> ; 14 % Na <sub>2</sub> O	6,4 a	4,9 b
33,33 % <u>Pinus</u> ; 16 % Na <sub>2</sub> O	3,0 a	1,7 b
66,66 % <u>Pinus</u> ; 14 % Na <sub>2</sub> O	9,0 a	5,4 b
66,66 % <u>Pinus</u> ; 16 % Na <sub>2</sub> O	6,0 a	2,3 b
100 % <u>Pinus</u> ; 14 % Na <sub>2</sub> O	8,0 b	10,2 a
100 % <u>Pinus</u> ; 16 % Na <sub>2</sub> O	6,4 a	2,7 b

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste F, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 28 - Comparações entre os Valores Médios para o Teor de Rejeitos das Celuloses, na Interação P x H x A: Influência do Álcali Ativo

	Álcali Ativo, base Na <sub>2</sub> O (%)	
	14	16
0 % <u>Pinus</u> ; H 900	2,2 a*	0,7 b
0 % <u>Pinus</u> ; H 1100	2,8 a	0,6 b
33,33 % <u>Pinus</u> ; H 900	6,4 a	3,0 b
33,33 % <u>Pinus</u> ; H 1100	4,9 a	1,7 b
66,66 % <u>Pinus</u> ; H 900	9,0 a	6,0 b
66,66 % <u>Pinus</u> ; H 1100	5,4 a	2,3 b
100 % <u>Pinus</u> ; H 900	8,0 a	6,4 b
100 % <u>Pinus</u> ; H 1100	10,2 a	2,7 b

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste F, ao nível de 1 % de probabilidade.

A análise da variância para o teor de rejeitos está apresentada no Quadro 24. Analisando-se o mesmo, verificou-se que houveram significativos efeitos dos três fatores estudados (% Pinus, fator H e álcali a tivo) sobre o teor de rejeitos das celuloses. Igualmente, foram constatadas interações de segunda e a de terceira ordem também significativas.

O desdobramento da interação de terceira ordem mostrou que a variação de qualquer dos três fatores estudados dentro de níveis pré-estabelecidos dos outros dois, mostrava efeito significativo, na grande maioria das vezes. Em apenas duas situações não se observou ação significativa: era quando se variava o fator H de 900 para 1100 durante todos os cozimentos de madeira de E. urophylla. Isso ocorria porque, provavelmente o fator H 900 já era suficiente para uma boa deslignificação da madeira de E. urophylla, tanto ao álcali ativo de 14 como 16 % Na<sub>2</sub>O.

Nesses casos, os teores de rejeitos eram pequenos e o aumento do fator H representava pouco, dentro do mesmo alcali, para diminuí-los (Quadro 25 e 27).

A análise do Quadro 26 permitiu verificar que, dentro de uma mesma condição de cozimento, o teor de rejeitos aumentava, conforme se aumentava a proporção de cavacos de Pinus strobus. Como essa madeira era mais rica em lignina, que a de E. urophylla, sua conversão a celulose era mais difícil.

Teores aceitáveis de rejeitos foram alcançados para todos os cozimentos de E. urophylla. Conforme se aumentava a dosagem de cavacos de Pinus, eram necessárias condições mais drásticas para se reduzir o teor de rejeitos a níveis adequados, para não se sobrecarregar os sistemas de depuração.

No caso de 33,33 % de Pinus, somente com 16 % de  $\text{Na}_2\text{O}$  para qualquer dos dois níveis de fator H, obtinham-se teores aceitáveis de rejeitos. Para 66,66 % e 100 % de Pinus, as condições de cozimento deveriam ser as mais drásticas, 16 %  $\text{Na}_2\text{O}$  e H 1100, para reduzir os rejeitos a valores manuseáveis dentro de uma fábrica de celulose.

Em quase todas as situações observou-se que, tanto o aumento do fator H como do álcali ativo, provocavam diminuição significativa do teor de rejeitos (Quadro 27 e 28, respectivamente).

#### 4.5.4. Número Kappa das Celuloses

Os valores para o número kappa das celuloses e suas análises estatísticas estão apresentados nos Quadros 29 a 34.

QUADRO 29 - Número Kappa das Celuloses

Tratamento	Repetição			Média
	1. <sup>a</sup>	2. <sup>a</sup>	3. <sup>a</sup>	
14 % Na <sub>2</sub> O; H 900				
- 0 % <u>Pinus</u>	29,5	28,3	30,4	29,9
- 33,33 % <u>Pinus</u>	38,4	40,0	38,6	39,0
- 66,66 % <u>Pinus</u>	60,8	63,0	64,3	62,7
- 100 % <u>Pinus</u>	81,3	77,8	85,1	81,4
14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100				
- 0 % <u>Pinus</u>	20,2	21,5	21,2	21,0
- 33,33 % <u>Pinus</u>	40,6	41,7	39,6	40,6
- 66,66 % <u>Pinus</u>	52,7	52,6	50,8	52,0
- 100 % <u>Pinus</u>	95,5	95,0	93,3	94,6
16 % Na <sub>2</sub> O; H 900				
- 0 % <u>Pinus</u>	23,7	22,3	22,2	22,7
- 33,33 % <u>Pinus</u>	42,0	45,0	44,1	43,7
- 66,66 % <u>Pinus</u>	66,7	64,0	69,6	66,8
- 100 % <u>Pinus</u>	78,8	75,8	77,8	77,5
16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100				
- 0 % <u>Pinus</u>	22,2	20,3	21,0	21,2
- 33,33 % <u>Pinus</u>	33,0	33,3	32,9	33,0
- 66,66 % <u>Pinus</u>	34,1	33,2	31,8	33,0
- 100 % <u>Pinus</u>	41,7	39,2	44,9	41,9

QUADRO 30 - Análise da Variância para Número Kappa

Fonte de Variação	GL	QM	F
% <u>Pinus</u> (P)	3	5473,30	1937,94**
Fator H (H)	1	1395,80	494,21**
Álcali ativo (A)	1	1243,18	440,17**
P x H	3	201,02	71,17**
P x A	3	456,98	161,80**
H x A	1	1105,15	391,30**
P x H x A	3	409,78	145,09**
Erro	32	2,82	
Total	47		

C.V. = 3,53 %

\*\* Significativo, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 31 - Efeito da Porcentagem de Pinus (P), Fator H (H) e Álcali Ativo (A) sobre o Número Kappa, de Acordo com o Desdobramento da Interação P x H x A

Fonte de Variação	GL	QM	F
% <u>Pinus</u> / 14 % Na <sub>2</sub> O; H 900	3	4892,60	1732,33**
% <u>Pinus</u> / 14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	3	8718,79	3087,08**
% <u>Pinus</u> / 16 % Na <sub>2</sub> O; H 900	3	5372,45	1902,24**
% <u>Pinus</u> / 16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	3	664,51	231,74**
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 0 % <u>Pinus</u>	1	119,62	42,35**
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	4,08	1,44
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	170,45	60,35**
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 100 % <u>Pinus</u>	1	260,96	92,40**
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 0 % <u>Pinus</u>	1	3,74	1,33
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	169,81	60,12**
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	1709,61	605,32**
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 100 % <u>Pinus</u>	1	1894,64	670,83**
Álcali/ H 900; 0 % <u>Pinus</u>	1	77,33	27,38**
Álcali/ H 900; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	33,56	11,88**
Álcali/ H 900; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	24,85	8,79**
Álcali/ H 900; 100 % <u>Pinus</u>	1	23,28	8,24**
Álcali/ H 1100; 0 % <u>Pinus</u>	1	0,04	0,02
Álcali/ H 1100; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	85,73	30,35**
Álcali/ H 1100; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	543,21	192,33**
Álcali/ H 1100; 100 % <u>Pinus</u>	1	4161,19	1473,36**
Erro	32	2,84	

\*\* Significativo, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 32 - Comparações, pelo Teste de Tukey, para os Valores Médios do Número Kappa das Celuloses, na Interação P x H x A: Influência da Porcentagem de Pinus

	<u>Pinus</u> (%)			
	0	33,33	66,66	100
14 % Na <sub>2</sub> O; H 900	29,9 d*	39,0 c	62,7 b	81,4 a
14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	21,0 d	40,6 c	52,0 b	94,6 a
16 % Na <sub>2</sub> O; H 900	22,7 d	43,7 c	66,8 b	77,5 a
16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	21,2 c	33,0 b	33,0 b	41,9 a

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 33 - Comparações entre os Valores Médios para o Número Kappa das Celuloses, na Interação P x H x A: Influência do Fator H

	Fator H	
	900	1100
0 % <u>Pinus</u> ; 14 % Na <sub>2</sub> O	29,9 a*	21,0 b
0 % <u>Pinus</u> ; 16 % Na <sub>2</sub> O	22,7 a	21,2 a
33,33 % <u>Pinus</u> ; 14 % Na <sub>2</sub> O	39,0 a	40,6 a
33,33 % <u>Pinus</u> ; 16 % Na <sub>2</sub> O	43,7 a	33,1 b
66,66 % <u>Pinus</u> ; 14 % Na <sub>2</sub> O	62,7 a	52,0 b
66,66 % <u>Pinus</u> ; 16 % Na <sub>2</sub> O	66,8 a	33,0 b
100 % <u>Pinus</u> ; 14 % Na <sub>2</sub> O	81,4 a	94,6 b
100 % <u>Pinus</u> ; 16 % Na <sub>2</sub> O	77,5 a	41,9 b

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste F, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 34 – Comparações entre os Valores Médios para o Número Kappa das Celuloses, na Interação P x H x A: Influência do Álcali Ativo

	Álcali Ativo, base Na <sub>2</sub> O (%)	
	14	16
0 % <u>Pinus</u> ; H 900	29,9 a*	22,7 b
0 % <u>Pinus</u> ; H 1100	21,0 a	21,2 a
33,33 % <u>Pinus</u> ; H 900	39,0 b	43,7 a
33,33 % <u>Pinus</u> ; H 1100	40,6 a	33,1 b
66,66 % <u>Pinus</u> ; H 900	62,7 b	66,8 a
66,66 % <u>Pinus</u> ; H 1100	52,0 a	33,0 b
100 % <u>Pinus</u> ; H 900	81,4 a	77,5 b
100 % <u>Pinus</u> ; H 1100	94,6 a	41,9 b

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste F, ao nível de 1 % de probabilidade.

A análise da variância para número kappa está mostrada no Quadro 30. Observou-se no mesmo, que os três fatores em estudo (% Pinus, fator H e álcali ativo) mostravam efeitos significativos sobre o número kappa. Foram também significativas, todas as interações de segunda e a de terceira ordem. Está desdobrada no Quadro 31.

O desdobramento da interação de terceira ordem mostrou que:

a) A proporção de cavacos de Pinus na mistura influenciava significativamente o número kappa, independentemente das condições de cozimento adotados.

b) O fator H mostrava ação significativa, na maioria dos casos, sobre o número kappa, quando variava dentro de níveis pré-fixados dos outros dois fatores. Apenas em duas ocasiões a variação do fator H não resultou em alteração significativa no número kappa: para 33,33 % de cavacos de Pinus com deslignificação a 14 % Na<sub>2</sub>O; para 100 % de cavacos de E. urophylla deslignificados a 16 % de Na<sub>2</sub>O.



c) O álcali ativo mostrou efeito altamente significativo sobre o número kappa. Quando se variava o teor de álcali ativo em níveis pré-fixados de porcentagem de cavacos de Pinus e de fator H, notavam-se alterações significativas. Em apenas um caso, para deslignificação de 100 % de cavacos de E. urophylla a fator H 1100, o álcali ativo não influenciou o número kappa.

Para quaisquer das condições de cozimento, o aumento da proporção de cavacos de P. strobus resultava em aumento do número kappa. Essa alteração era bastante expressiva, pois o número kappa médio variou de um mínimo global de 21,0 para um máximo global de 94,6. Em termos práticos, notou-se que pequenas adições de cavacos de Pinus (33,33 %), junto aos de Eucalyptus, eram suficientes para provocarem elevação significativa do número kappa. Por outro lado, o recíproco é verdadeiro. Adicionando-se 33,33 % de cavacos de E. urophylla aos de P. strobus, o número kappa diminuiu significativamente (Quadro 32).

A madeira de E. urophylla deslignificou-se facilmente. Apenas a condição 14 %  $\text{Na}_2\text{O}$  e fator H 900 não se mostrou totalmente efetiva para trazer as polpas a níveis de número kappa, que permitissem branqueamento econômico. As outras condições foram suficientes para produzir polpas com números kappa próximos a 20 (Quadro 29 ou 32).

Contrariamente, as madeiras de P. strobus mostraram-se de difícil deslignificação. Mesmo as condições mais drásticas estudadas, 16 %  $\text{Na}_2\text{O}$  e H 1100, não foram suficientes para trazer o número kappa das polpas a valores médios inferiores a 40. Deduziu-se que a madeira de P. strobus deveria requerer condições ainda mais severas para cozimento, a fim de se deslignificar o produto até número kappa 30, valor aceitável para branqueamento de celulose de conífera.

Tanto o aumento de álcali ativo como do fator H corresponderam em diminuições significativas do número kappa, para a maioria dos casos (Quadro 33 e 34). Quanto maior era o teor de madeira de Pinus, mais difícil ficava se diminuir o número kappa, mesmo elevando-se o álcali ativo e o fator H.

4.6. Viscosidade das Celuloses

Os valores da viscosidade das celuloses, em centipoises, e suas análises estatísticas estão apresentados nos Quadros 35 a 40.

QUADRO 35 - Viscosidade das Celuloses (cP)

Tratamentos	Repetição			Média
	1. <sup>a</sup>	2. <sup>a</sup>	3. <sup>a</sup>	
14 % Na <sub>2</sub> O; H 900				
- 0 % <u>Pinus</u>	29,9	29,9	27,7	29,2
- 33,33 % <u>Pinus</u>	25,6	28,3	27,0	27,3
- 66,66 % <u>Pinus</u>	16,6	14,8	16,5	16,0
- 100 % <u>Pinus</u>	16,6	13,6	15,9	15,4
14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100				
- 0 % <u>Pinus</u>	30,9	31,2	30,8	30,9
- 33,33 % <u>Pinus</u>	25,9	25,8	26,2	25,9
- 66,66 % <u>Pinus</u>	25,9	25,4	25,1	25,4
- 100 % <u>Pinus</u>	17,7	17,6	18,3	17,9
16 % Na <sub>2</sub> O; H 900				
- 0 % <u>Pinus</u>	25,3	25,2	24,0	24,8
- 33,33 % <u>Pinus</u>	21,5	22,1	23,4	22,3
- 66,66 % <u>Pinus</u>	21,8	23,0	20,5	21,8
- 100 % <u>Pinus</u>	13,0	15,8	14,3	14,4
16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100				
- 0 % <u>Pinus</u>	24,2	20,4	23,0	22,6
- 33,33 % <u>Pinus</u>	19,5	20,2	24,4	21,4
- 66,66 % <u>Pinus</u>	15,5	13,9	12,4	14,0
- 100 % <u>Pinus</u>	14,4	19,8	15,1	16,4

QUADRO 36 - Análise da Variância para Viscosidade das Celulosas

Fonte de Variação	GL	QM	F
% Pinus (P)	3	282,6820	139,62**
Fator H (H)	1	2,5071	1,24
Alcali ativo (A)	1	169,3130	83,62**
P x H	3	6,3736	3,15
P x A	3	14,6704	7,24**
H x A	1	86,6449	42,79**
P x H x A	3	49,7766	24,50**
Erro	32	2,0246	
Total	47		

C.V. = 6,59 %

\*\* Significativo, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 37 - Efeito da Percentagem de Pinus (P), Fator H (H) e Álcali A-tivo (A) sobre a Viscosidade das Celulosas, de Acordo com o Desdobramento da Interação P x H x A

Fonte de Variação	GL	(H)	F
% <u>Pinus</u> / 14 % Na <sub>2</sub> O; H 900	3	158,7583	73,41**
% <u>Pinus</u> / 14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	3	86,5556	42,80**
% <u>Pinus</u> / 16 % Na <sub>2</sub> O; H 900	3	59,8433	29,56**
% <u>Pinus</u> / 16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	3	49,7177	24,55**
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 0 % <u>Pinus</u>	1	4,7526	2,35
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	2,7338	1,35
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	134,5214	66,44**
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 100 % <u>Pinus</u>	1	9,2256	4,55
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 0 % <u>Pinus</u>	1	7,7976	3,85
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	1,3254	0,65
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	89,8614	44,38**
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 100 % <u>Pinus</u>	1	0,2424	3,08
Álcali/ H 900; 0 % <u>Pinus</u>	1	27,9936	13,83**
Álcali/ H 900; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	37,0513	18,30**
Álcali/ H 900; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	50,2862	24,84**
Álcali/ H 900; 100 % <u>Pinus</u>	1	1,4406	0,71
Álcali/ H 1100; 0 % <u>Pinus</u>	1	105,3366	52,03**
Álcali/ H 1100; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	31,1904	15,40**
Álcali/ H 1100; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	195,8246	96,62**
Álcali/ H 1100; 100 % <u>Pinus</u>	1	3,0246	1,49
Erro	32	2,0246	

\*\* Significativo, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 38 - Comparações, pelo Teste de Tukey, para os Valores Médios da Viscosidade das Celuloses, na Interação P x H x A: Influência da Porcentagem do Pinus

	<u>Pinus</u> (%)			
	0	33,33	66,66	100
14 % Na <sub>2</sub> O; H 900	29,2 a*	27,3 a	16,0 b	15,4 b
14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	30,9 a	25,9 b	25,4 b	17,9 c
16 % Na <sub>2</sub> O; H 900	24,8 a	22,3 a	21,8 a	14,4 b
16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	22,6 a	21,4 a	14,0 b	14,4 b

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 39 - Comparações entre os Valores Médios da Viscosidade das Celuloses, na Interação P x H x A: Influência do Fator H

	Fator H	
	900	1100
0 % <u>Pinus</u> ; 14 % Na <sub>2</sub> O	29,2 a*	30,9 a
0 % <u>Pinus</u> ; 16 % Na <sub>2</sub> O	24,8 a	22,6 a
33,33 % <u>Pinus</u> ; 14 % Na <sub>2</sub> O	27,3 a	25,9 a
33,33 % <u>Pinus</u> ; 16 % Na <sub>2</sub> O	22,3 a	21,4 a
66,66 % <u>Pinus</u> ; 14 % Na <sub>2</sub> O	16,0 b	25,4 a
66,66 % <u>Pinus</u> ; 16 % Na <sub>2</sub> O	21,8 a	14,0 b
100 % <u>Pinus</u> ; 14 % Na <sub>2</sub> O	15,4 a	17,9 a
100 % <u>Pinus</u> ; 16 % Na <sub>2</sub> O	14,4 a	14,4 a

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste F, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 40 - Comparações entre os Valores Médios da Viscosidade das Celuloses, na Interação P x H x A: Influência do Álcali Ativo

	Álcali Ativo, base Na <sub>2</sub> O (%)	
	14	16
0 % <u>Pinus</u> ; H 900	29,2 a*	24,8 b
0 % <u>Pinus</u> ; H 1100	30,9 a	22,6 b
33,33 % <u>Pinus</u> ; H 900	27,3 a	22,3 b
33,33 % <u>Pinus</u> ; H 1100	25,9 a	21,4 b
66,66 % <u>Pinus</u> ; H 900	16,0 b	21,8 a
66,66 % <u>Pinus</u> ; H 1100	25,4 a	14,0 b
100 % <u>Pinus</u> ; H 900	15,4 a	14,4 a
100 % <u>Pinus</u> ; H 1100	17,9 a	14,4 a

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste F, ao nível de 1 % de probabilidade.

A análise da variância para a viscosidade das celuloses está apresentada no Quadro 36. Esse mostrava que a porcentagem de madeira de Pinus na mistura e o álcali ativo apresentavam efeito significativo sobre viscosidade das celuloses.

Como a interação de terceira ordem era significativa, ela foi desdobrada conforme o Quadro 37. O desdobramento mostrou que:

a) A proporção de madeira de Pinus na mistura influenciava significativamente a viscosidade, independentemente das condições de cozimento adotadas.

b) O fator H não era efetivo sobre a viscosidade. Apenas em duas situações a viscosidade variou significativamente pela ação do fator H: isso ocorreu quando a mistura de cavacos contendo 66,66 % de Pinus era deslignificada a 14 % Na<sub>2</sub>O e a 16 % Na<sub>2</sub>O. No primeiro caso a viscosidade aumentou de 16,0 cP para 25,4 cP, enquanto no segundo, diminuiu de 21,8 cP para 14,0 cP (Quadro 39).

c) O álcali ativo mostrava-se de maior influência sobre a viscosidade. Somente nos cozimentos de 100 % de cavacos de Pinus strobus aos fatores H de 900 e 1100 é que a variação do álcali ativo não se traduzia em variação significativa da viscosidade. Na maioria das situações, o aumento do álcali ativo resultava em diminuição da viscosidade (Quadro 40).

No Quadro 30 é possível se observar que, conforme se aumentava a proporção de cavacos de Pinus, a viscosidade das celuloses resultantes diminuía. Entretanto, torna-se difícil afirmar que as fibras de Pinus strobus prejudicavam a viscosidade. Isso porque, os números kappas das celuloses aumentavam ao mesmo tempo em que as viscosidades caíam. Poder-se-ia estar tendo aqui um mascaramento da viscosidade pela lignina residual das celuloses.

#### 4.7. Propriedades Físico-Mecânicas das Celuloses

Nesse ítem, procurou-se estudar o efeito dos fatores percentagem de madeira de Pinus na mistura, fator H, álcali ativo e grau de refino sobre as seguintes propriedades da celulose: tempo de refino, resistência à tração, ao arrebentamento e ao rasgo, esticamento, densidade aparente e volume específico aparente.

##### 4.7.1. Tempo de Refino Necessário para se Atingir 20, 40 e 60<sup>o</sup> SR

Os valores relativos ao tempo de refino, em minutos, necessário para se alcançar 20, 40 e 60<sup>o</sup> SR, bem como suas análises estatísticas, estão apresentados nos Quadros 41 a 51.

QUADRO 41 - Tempo de Refino para se Atingir 20, 40 e 60° SR (minutos)

Tratamentos	20° SR				40° SR				60° SR			
	1. <sup>a</sup>	2. <sup>a</sup>	3. <sup>a</sup>	Média	1. <sup>a</sup>	2. <sup>a</sup>	3. <sup>a</sup>	Média	1. <sup>a</sup>	2. <sup>a</sup>	3. <sup>a</sup>	Média
14 % Na <sub>2</sub> O; H 900	17,5	13,5	16,0	16,7	60,0	48,0	63,5	57,2	90,5	75,5	83,0	84,0
- 0 % Pinus												
- 33,33 % Pinus	21,0	20,5	19,0	20,2	81,0	77,0	92,5	80,5	113,0	107,0	113,3	111,9
- 66,66 % Pinus	52,0	43,0	57,0	50,8	103,0	102,0	105,0	103,3	134,0	134,0	140,0	136,0
- 100 % Pinus	91,8	89,0	81,0	87,2	131,8	134,5	127,0	131,1	157,0	157,5	155,0	156,5
14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100												
- 0 % Pinus	3,5	00,0	4,2	2,6	61,0	58,0	63,6	60,9	83,8	82,0	85,2	83,7
- 33,33 % Pinus	34,0	30,0	34,0	32,7	97,2	106,0	96,0	99,3	114,5	117,0	117,0	116,2
- 66,66 % Pinus	59,0	36,0	71,0	65,3	102,0	102,5	109,5	104,7	123,0	129,5	133,0	128,5
- 100 % Pinus	128,8	125,5	129,0	127,8	173,0	164,0	173,5	170,2	195,0	195,0	197,0	195,7
16 % Na <sub>2</sub> O; H 900												
- 0 % Pinus	24,5	21,0	19,5	21,7	56,5	59,8	70,2	62,2	93,5	90,0	83,3	90,0
- 33,33 % Pinus	34,5	35,0	40,2	36,6	92,0	91,8	110,2	90,0	117,0	119,5	127,0	121,2
- 66,66 % Pinus	74,0	75,5	80,0	76,5	119,5	121,8	123,0	121,2	144,5	147,2	140,0	146,6
- 100 % Pinus	122,2	103,0	118,0	111,1	147,0	138,5	151,5	145,7	175,0	163,0	163,0	167,7
16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100												
- 0 % Pinus	19,0	19,0	20,0	19,3	56,5	64,5	59,2	60,1	87,2	89,0	83,0	88,1
- 33,33 % Pinus	35,0	33,0	34,0	34,0	96,0	94,8	92,0	94,2	115,0	119,0	113,2	116,8
- 66,66 % Pinus	44,0	45,0	56,0	48,3	85,0	95,0	98,0	92,7	112,0	115,0	117,0	114,7
- 100 % Pinus	65,5	73,5	69,8	69,6	94,5	97,5	102,0	90,0	116,5	113,5	117,2	115,8



QUADRO 42 - Análise da Variância para Tempo de Refino

Fonte de Variação	GL	QM	F
% <u>Pinus</u> (P)	3	38212,10	1784,99**
Fator H (H)	1	595,15	27,80**
Alcali ativo (A)	1	303,38	16,97**
Grau de refino ( <sup>0</sup> SR)	2	64454,10	3010,83**
P x H	3	446,54	20,95**
P x A	3	2262,58	105,69**
H x A	1	9821,63	458,79**
P x H x A	3	3300,08	154,15**
P x <sup>0</sup> SR	6	466,48	21,79**
H x <sup>0</sup> SR	2	68,43	3,19
A x <sup>0</sup> SR	2	225,08	10,51**
P x H x <sup>0</sup> SR	6	61,39	2,86
P x A x <sup>0</sup> SR	6	37,56	1,75
H x A x <sup>0</sup> SR	2	15,82	0,74
P x H x A x <sup>0</sup> SR	6	30,82	2,37
Erro	96	21,41	
Total	143		

C.V. = 5,07 %

\*\* Significativo, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 43 - Efeito da Porcentagem de Pinus (P), Fator H (H) e Alkali A-  
tivo (A) sobre o Tempo de Refino, de Acordo com o Desdobramento da Interação P x H x A

Fonte de Variação	GL	QM	F
% <u>Pinus</u> / 14 % Na <sub>2</sub> O; H 900	3	8835,65	412,74**
% <u>Pinus</u> / 14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	3	21147,15	907,84**
% <u>Pinus</u> / 16 % Na <sub>2</sub> O; H 900	3	11778,43	550,20**
% <u>Pinus</u> / 16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	3	2462,14	115,01**
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 0 % <u>Pinus</u>	1	56,89	2,66
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	544,50	25,43**
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	34,72	1,62
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 100 % <u>Pinus</u>	1	7050,78	329,36**
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 0 % <u>Pinus</u>	1	20,05	0,94
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	57,78	2,70
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	3945,68	184,31**
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 100 % <u>Pinus</u>	1	9952,25	464,90**
Alkali/ H 900; 0 % <u>Pinus</u>	1	127,99	5,98
Alkali/ H 900; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	806,68	37,08**
Alkali/ H 900; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	1476,05	68,95**
Alkali/ H 900; 100 % <u>Pinus</u>	1	1229,25	57,42**
Alkali/ H 1100; 0 % <u>Pinus</u>	1	206,72	9,66**
Alkali/ H 1100; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	6,42	0,30
Alkali/ H 1100; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	917,35	42,65**
Alkali/ H 1100; 100 % <u>Pinus</u>	1	22102,53	1032,47**
Erro	96	21,41	

\*\* Significativo, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 44 - Efeito da Porcentagem de Pinus (P) e Grau de Refino (<sup>0</sup>SR) sobre o Tempo de Refino, de Acordo com o Desdobramento da Interação P x <sup>0</sup>SR

Fonte de Variação	GL	QM	F
% <u>Pinus</u> / 20 <sup>0</sup> SR	3	16314,54	762,08**
% <u>Pinus</u> / 40 <sup>0</sup> SR	3	11875,67	554,75**
% <u>Pinus</u> / 60 <sup>0</sup> SR	3	10954,75	511,73**
Grau de refino/ 0 % <u>Pinus</u>	2	15631,74	730,20**
Grau de refino/ 33,33 % <u>Pinus</u>	2	23638,08	1104,19**
Grau de refino/ 66,66 % <u>Pinus</u>	2	15575,57	727,58**
Grau de refino/ 100 % <u>Pinus</u>	2	11008,25	514,23**
Erro	96	21,41	

\*\* Significativo, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 45 - Efeito do Alkali Ativo (A) e Grau de Refino (<sup>0</sup>SR) sobre o Tempo de Refino, de Acordo com o Desdobramento da Interação A x <sup>0</sup>SR

Fonte de Variação	GL	QM	F
Alkali/ 20 <sup>0</sup> SR	1	34,97	1,63
Alkali/ 40 <sup>0</sup> SR	1	277,08	12,94**
Alkali/ 60 <sup>0</sup> SR	1	501,49	23,42**
Grau de refino/ 14 % Na <sub>2</sub> O	2	36110,35	1636,81**
Grau de refino/ 15 % Na <sub>2</sub> O	2	28568,91	1334,53**
Erro	96	21,41	

\*\* Significativo, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 46 - Comparações, pelo Teste de Tukey, para os Valores Médios de Tempo de Refino, na Interação P x H x A: Influência da Porcentagem de Pinus

	<u>Pinus</u> (%)			
	0	33,33	66,66	100
14 % Na <sub>2</sub> O; H 900	52,6 d*	71,9 c	96,7 b	124,9 a
14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	49,1 d	82,9 c	99,5 b	164,5 a
16 % Na <sub>2</sub> O; H 900	50,0 d	85,2 c	114,8 b	141,5 a
16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	55,8 c	81,7 b	85,2 b	94,4 a

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 47 - Comparações entre os Valores Médios para Tempo de Refino na Interação P x H x A: Influência do Fator H

	Fator H	
	900	1100
0 % <u>Pinus</u> ; 14 % Na <sub>2</sub> O	52,6 a*	49,1 a
0 % <u>Pinus</u> ; 16 % Na <sub>2</sub> O	50,0 a	55,8 a
33,33 % <u>Pinus</u> ; 14 % Na <sub>2</sub> O	71,9 b	82,9 a
33,33 % <u>Pinus</u> ; 16 % Na <sub>2</sub> O	85,2 a	81,7 a
66,66 % <u>Pinus</u> ; 14 % Na <sub>2</sub> O	96,7 a	99,5 a
66,66 % <u>Pinus</u> ; 16 % Na <sub>2</sub> O	114,8 a	85,2 b
100 % <u>Pinus</u> ; 14 % Na <sub>2</sub> O	124,9 b	164,5 a
100 % <u>Pinus</u> ; 16 % Na <sub>2</sub> O	141,5 a	94,4 b

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste F, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 48 - Comparações entre os Valores Médios para Tempo de Refino na Interação P x H x A: Influência do Álcali Ativo

	Álcali Ativo, base Na <sub>2</sub> O (%)	
	14	16
0 % <u>Pinus</u> , H 900	52,6 a*	58,0 a
0 % <u>Pinus</u> , H 1100	49,1 b	55,8 a
33,33 % <u>Pinus</u> , H 900	71,9 b	85,2 a
33,33 % <u>Pinus</u> , H 1100	82,9 a	81,7 a
66,66 % <u>Pinus</u> , H 900	96,7 b	114,8 a
66,66 % <u>Pinus</u> , H 1100	99,5 a	85,2 b
100 % <u>Pinus</u> , H 900	124,9 b	141,5 a
100 % <u>Pinus</u> , H 1100	164,5 a	94,4 b

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste F, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 49 - Comparações, pelo Teste de Tukey, para os Valores Médios de Tempo de Refino, na Interação P x <sup>0</sup>SR: Influência do Grau de Refino

	Grau de Refino ( <sup>0</sup> SR)		
	20	40	60
0 % <u>Pinus</u>	15,1 c*	60,1 b	86,4 a
33,33 % <u>Pinus</u>	30,9 c	93,9 b	116,5 a
66,66 % <u>Pinus</u>	60,2 c	105,5 b	131,4 a
100 % <u>Pinus</u>	98,9 c	136,2 b	158,9 a

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 50 - Comparações, pelo Teste de Tukey para os Valores Médios de Tempo de Refino, na Interação P x <sup>o</sup>SR: Influência da Porcentagem de Pinus

	<u>Pinus</u> (%)			
	0	33,33	66,66	100
20 <sup>o</sup> SR	15,1 d*	30,9 c	60,2 b	90,9 a
40 <sup>o</sup> SR	60,1 d	93,9 c	105,5 b	136,2 a
60 <sup>o</sup> SR	86,4 d	116,5 c	131,4 b	160,9 a

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 51 - Comparações entre os Valores Médios de Tempo de Refino, na Interação A x <sup>o</sup>SR: Influência do Grau de Refino e do Álcali Ativo

	Grau de Refino ( <sup>o</sup> SR)		
	20	40	60
14 % Na <sub>2</sub> O**	50,4 c*	101,3 b	126,5 a
16 % Na <sub>2</sub> O	52,1 c	90,5 b	120,1 a

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 1 % de probabilidade.

\*\* A significância da influência do álcali ativo é dada pelo teste F, no Quadro 45.

A análise da variância para o tempo de refino está apresentada no Quadro 42. Nesse é possível se verificar, que os fatores % Pinus, fator H, álcali ativo e grau de refino mostraram efeitos significativos. Diversas interações de segunda ordem (P x H; P x A; H x A; P x <sup>o</sup>SR e A x <sup>o</sup>SR) e uma de terceira ordem (P x H x A) mostraram-se significativas. A interação de terceira ordem P x H x A e as de segunda ordem P x

$^{\circ}$ SR e A x  $^{\circ}$ SR foram desdobradas, sendo que os seus desdobramentos estão mostrados nos Quadros 43, 44 e 45 respectivamente.

A interação P x H x A permite individualizar os efeitos dos fatores % Pinus, fator H e álcali ativo, independentemente do grau de refino. O desdobramento dessa interação mostrou que: a) a porcentagem de cavacos de Pinus exerceu significativo efeito no tempo de refino, independente dos outros fatores; b) o fator H exerceu efeito sobre essa propriedade em alguns casos, de preferência nos casos onde era maior o teor de madeira de Pinus; c) o álcali ativo mostrou também ação significativa, da mesma forma que o fator H, principalmente nos tratamentos onde era maior a porcentagem de Pinus. Pressupõe-se que tanto o álcali ativo, como o fator H, influenciavam o tempo de refino em razão da maior deslignificação que provocavam nessas polpas, quando tinham seus níveis aumentados.

Nos Quadros 46, 47 e 48, estão apresentadas comparações entre os valores médios de tempo de refino, observando-se as influências dos três fatores de interação P x H x A. Desses quadros, é possível se tirar as seguintes observações: a) conforme aumentava a porcentagem de madeira de Pinus, tornava-se mais difícil o refino, demandando mais tempo; b) o aumento do fator H em alguns casos causou aumento e em outro diminuição do tempo de refino; c) na maioria das vezes o aumento do álcali ativo provocava uma diminuição do tempo de refino, já que o álcali ativo maior dava origem a polpas com menos lignina, portanto mais hidrofílicas.

O desdobramento da interação P x  $^{\circ}$ SR está mostrado no Quadro 44. Ele indicou que: a) o grau de refino influenciava o tempo de refino de forma significativa, em quaisquer porcentagens de madeira de Pinus; b) dentro de cada nível de grau de refino, a porcentagem de Pinus influenciava significativamente o tempo de refino. O quadro de médias de número 50 reforçou observação anterior de que para se obter um grau de refino pré-fixado, tomava-se maior tempo conforme maior era a porcentagem de madeira de Pinus na mistura levada ao cozimento.

O desdobramento da interação  $A \times \text{SR}$ , mostrado no Quadro 45, indicou que o grau de refino exercia efeito significativo sobre o tempo de refino nos dois níveis de álcali ativo estudados. Quando se alterava o álcali ativo, dentro dos graus de refino  $40^{\circ}\text{SR}$  e  $60^{\circ}\text{SR}$ , observava-se também efeito significativo. Uma conclusão lógica que esse desdobramento permite é que para se elevar o grau de refino de  $20^{\circ}\text{SR}$  para  $40^{\circ}\text{SR}$  e para  $60^{\circ}\text{SR}$ , demanda-se tempo crescente de refino.

#### 4.7.2. Resistência à Tração das Celuloses

Os valores relativos à resistência à tração, expressos pelo comprimento de auto-ruptura, em km, e suas respectivas análises estatísticas estão apresentados nos Quadros 52 a 62.



QUADRO 52 - Resistência à Tração das Celuloses (km)

Tratamentos	20° SR					40° SR					60° SR					
	1. <sup>a</sup>	2. <sup>a</sup>	3. <sup>a</sup>	Média	1. <sup>a</sup>	2. <sup>a</sup>	3. <sup>a</sup>	Média	1. <sup>a</sup>	2. <sup>a</sup>	3. <sup>a</sup>	Média	1. <sup>a</sup>	2. <sup>a</sup>	3. <sup>a</sup>	Média
	14 % Na <sub>2</sub> O; H 500	5,35	5,10	4,90	5,12	7,75	6,90	7,65	7,43	9,60	7,10	8,50	8,10	5,35	5,10	4,90
- 0 % Pinus	5,55	5,73	5,45	5,92	7,70	8,55	7,25	7,83	6,20	8,80	8,55	8,62	5,55	5,73	5,45	5,92
- 33,33 % Pinus	7,03	6,40	7,15	6,86	7,90	6,85	8,20	7,55	9,50	7,80	9,20	9,50	7,03	6,40	7,15	6,86
- 66,66 % Pinus	6,25	6,10	6,05	6,23	6,60	7,38	6,20	6,73	6,70	7,10	6,38	6,73	6,25	6,10	6,05	6,23
14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	4,05	3,75	3,35	3,72	8,35	6,40	7,90	7,55	8,13	8,75	7,95	8,28	4,05	3,75	3,35	3,72
- 0 % Pinus	6,25	6,10	5,90	6,08	7,45	7,00	6,60	7,02	7,80	7,75	7,60	7,72	6,25	6,10	5,90	6,08
- 33,33 % Pinus	6,55	6,65	7,70	6,97	8,30	8,13	8,95	8,43	3,65	8,40	9,00	8,68	6,55	6,65	7,70	6,97
- 66,66 % Pinus	7,40	7,30	6,00	7,16	7,98	7,50	7,70	7,73	3,30	7,60	7,70	7,87	7,40	7,30	6,00	7,16
16 % Na <sub>2</sub> O; H 900	6,55	5,40	5,50	5,82	7,05	7,95	7,20	7,40	9,10	8,60	8,40	8,70	6,55	5,40	5,50	5,82
- 0 % Pinus	7,15	6,35	5,55	6,68	7,45	6,85	8,55	7,62	7,40	7,68	8,75	7,94	7,15	6,35	5,55	6,68
- 33,33 % Pinus	5,80	6,43	5,90	6,05	8,30	8,00	7,25	7,85	7,55	7,40	6,80	7,25	5,80	6,43	5,90	6,05
- 66,66 % Pinus	6,65	7,30	6,35	6,77	6,90	7,90	6,25	7,02	7,10	8,00	6,80	7,30	6,65	7,30	6,35	6,77
16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	5,95	6,40	5,70	6,02	7,85	7,10	7,55	7,50	9,30	8,40	7,90	8,53	5,95	6,40	5,70	6,02
- 0 % Pinus	6,95	6,80	6,35	6,70	7,80	7,00	7,40	7,40	7,80	7,90	7,95	7,88	6,95	6,80	6,35	6,70
- 33,33 % Pinus	6,35	6,15	6,70	6,40	7,30	7,60	6,50	7,13	6,95	7,60	7,35	7,30	6,35	6,15	6,70	6,40
- 66,66 % Pinus	7,70	7,30	7,20	7,40	7,50	7,65	8,20	7,70	7,25	8,05	7,80	7,70	7,70	7,30	7,20	7,40

QUADRO 53 - Análise da Variância para Resistência à Tração

Fonte de Variação	GL	QM	F
% <u>Pinus</u> (P)	3	1,0661	4,26**
Fator H (H)	1	0,5160	2,06
Álcali ativo (A)	1	0,0900	0,36
Grau de refino ( <sup>o</sup> SR)	2	37,4125	149,41**
P x H	3	2,2102	8,83**
P x A	3	3,6385	14,53**
H x A	1	0,0016	0,06
P x H x A	3	0,5686	2,27
P x <sup>o</sup> SR	6	4,1167	16,44**
H x <sup>o</sup> SR	2	0,0026	0,01
A x <sup>o</sup> SR	2	1,6655	6,65**
P x H x <sup>o</sup> SR	6	0,2741	1,09
P x A x <sup>o</sup> SR	6	0,4745	1,89
H x A x <sup>o</sup> SR	2	0,3243	1,29
P x H x A x <sup>o</sup> SR	6	0,4656	1,86
Erro	96	0,2504	
Total	143		

C.V. = 6,92 %

\*\* Significativo, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 54 - Efeito da Porcentagem de Pinus (P) e Fator H (H) sobre a Resistência à Tração, de Acordo com o Desdobramento da Interação P x H

Fonte de Variação	GL	QM	F
Fator H/0 % <u>Pinus</u>	1	0,2439	0,97
Fator H/33,33 % <u>Pinus</u>	1	0,8261	3,30
Fator H/66,66 % <u>Pinus</u>	1	0,1566	0,62
Fator H/100 % <u>Pinus</u>	1	5,9201	23,64**
% <u>Pinus</u> /H 900	3	1,5139	6,05**
% <u>Pinus</u> /H 1100	3	1,7501	6,99**
Erro	96	0,2504	

\*\* Significativo, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 55 - Efeito da Porcentagem de Pinus (P) e do Álcali Ativo (A) sobre a Resistência à Tração de Acordo com o Desdobramento da Interação P x A

Fonte de Variação	GL	QM	F
Álcali/0 % <u>Pinus</u>	1	3,5595	14,22**
Álcali/33,33 % <u>Pinus</u>	1	0,2721	1,09
Álcali/66,66 % <u>Pinus</u>	1	6,5963	26,34**
Álcali/100 % <u>Pinus</u>	1	0,5776	2,31
% <u>Pinus</u> /14 % Na <sub>2</sub> O	3	4,1615	16,62**
% <u>Pinus</u> /16 % Na <sub>2</sub> O	3	0,5431	2,17
Erro	96	0,2504	

\*\* Significativo, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 56 - Efeito da Porcentagem de Pinus (P) e do Grau de Refino ( $^{\circ}$ SR) sobre a Resistência à Tração, de Acordo com o Desdobramento da Interação P x  $^{\circ}$ SR

Fonte de Variação	GL	QM	F
Grau de refino/0 % <u>Pinus</u>	2	33,2956	132,97**
Grau de refino/33,33 % <u>Pinus</u>	2	8,9573	35,77**
Grau de refino/66,66 % <u>Pinus</u>	2	6,6731	26,65**
Grau de refino/100 % <u>Pinus</u>	2	0,8835	3,53
% <u>Pinus</u> /20 $^{\circ}$ SR	3	6,7815	27,08**
% <u>Pinus</u> /40 $^{\circ}$ SR	3	0,4455	1,78
% <u>Pinus</u> /60 $^{\circ}$ SR	3	2,0692	8,26**
Erro	96	0,2504	

\*\* Significativo, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 57 - Efeito do Álcali Ativo (A) e do Grau de Refino ( $^{\circ}$ SR) sobre a Resistência à Tração, de Acordo com o Desdobramento da Interação A x  $^{\circ}$ SR

Fonte de Variação	GL	QM	F
Grau de refino/14 % Na <sub>2</sub> O	2	27,4223	109,51**
Grau de refino/16 % Na <sub>2</sub> O	2	11,6557	46,55**
Álcali/20 $^{\circ}$ SR	1	2,6696	10,66**
Álcali/40 $^{\circ}$ SR	1	0,0910	0,36
Álcali/60 $^{\circ}$ SR	1	0,6604	2,64
Erro	96	0,2504	

\*\* Significativo, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 58 - Comparações entre os Valores Médios de Resistência à Tração, na Interação P x H: Influência da Porcentagem de Pinus e do Fator H

	<u>Pinus</u> (%)			
	0	33,33	66,66	100
H 900**	7,09 ab*	7,44 a	7,36 a	6,80 b
H 1100	6,93 a	7,13 ab	7,49 a	7,60 a

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 1 % de probabilidade.

\*\* A significância da influência do fator H é dada pelo teste F, no Quadro 54.

QUADRO 59 - Comparações entre os Valores Médios de Resistência à Tração, na Interação P x A: Influência da Porcentagem de Pinus e do Álcali Ativo

	<u>Pinus</u> (%)			
	0	33,33	66,66	100
14 % Na <sub>2</sub> O**	6,70 b*	7,20 b	7,85 a	7,07 b
16 % Na <sub>2</sub> O	7,33 a	7,37 a	7,00 a	7,32 a

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 1 % de probabilidade.

\*\* A significância da influência do álcali ativo é dada pelo teste F, no Quadro 55.

QUADRO 60 - Comparações, pelo Teste de Tukey, entre os Valores Médios de Resistência à Tração, na Interação P x <sup>o</sup>SR: Influência da Porcentagem de Pinus

	<u>Pinus</u> (%)			
	0	33,33	66,66	100
20 <sup>o</sup> SR	5,17 b*	6,34 a	6,57 a	6,89 a
40 <sup>o</sup> SR	7,47 a	7,46 a	7,77 a	7,31 a
60 <sup>o</sup> SR	8,40 a	8,04 ab	7,93 ab	7,40 b

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 61 - Comparações, pelo Teste de Tukey, entre os Valores Médios de Resistência à Tração na Interação P x <sup>o</sup>SR: Influência do Grau de Refino

	Grau de Refino ( <sup>o</sup> SR)		
	20	40	60
0 % <u>Pinus</u>	5,17 c*	7,47 b	8,40 a
33,33 % <u>Pinus</u>	6,34 b	7,47 a	8,04 a
66,66 % <u>Pinus</u>	6,57 b	7,77 a	7,93 a
100 % <u>Pinus</u>	6,89 a	7,31 a	7,40 a

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 62 - Comparações entre os Valores Médios de Resistência à Tração na Interação A x <sup>o</sup>SR: Influência do Álcali Ativo e do Grau de Refino

	Grau de Refino ( <sup>o</sup> SR)		
	20	40	60
14 % Na <sub>2</sub> O**	6,01 c*	7,55 b	8,06 a
16 % Na <sub>2</sub> O	6,48 b	7,46 a	7,83 a

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 1 % de probabilidade.

\*\* A significância da influência do álcali ativo é dada pelo teste F, no Quadro 57.

A análise da variância para a resistência à tração das celuloses está mostrada no Quadro 53. Ela indicava efeito significativo dos fatores percentagem de Pinus e grau de refino. Os dois fatores que se referiam à deslignificação das madeiras, fator H e álcali ativo, não mostraram efeito significativo nessa resistência. Entretanto, algumas interações envolvendo esses fatores foram significativas, indicando que a va-

riação de um fator exercia efeito na variação do outro. As interações  $P \times H$ ,  $P \times A$ ,  $P \times \text{SR}$  e  $A \times \text{SR}$  foram significativas. Seus desdobramentos constam dos Quadros 54, 55, 56 e 57, respectivamente.

No desdobramento da interação  $P \times H$  observou-se que dentro dos dois níveis de fator H, a porcentagem de Pinus influenciava significativamente a resistência à tração. Por outro lado, o fator H tinha efeito significativo sobre essa propriedade apenas quando se deslignificava madeira de Pinus: o aumento do fator H provocava aumento da resistência à tração para 100 % Pinus. Dentro de um mesmo fator H, a resistência à tração parecia aumentar até certo ponto, com o aumento da porcentagem de Pinus, para depois estacionar ou diminuir (Quadro 58).

O desdobramento da interação  $P \times A$  revelou influência significativa de álcali ativo dentro dos tratamentos contendo 0 % Pinus e 66,66 % Pinus. Por outro lado, a porcentagem de Pinus afetava a resistência à tração apenas no caso de 14 %  $\text{Na}_2\text{O}$ . Nesse caso, conforme se aumentava porcentagem de Pinus na mistura, a resistência à tração aumentava, para depois diminuir (Quadro 59).

Do desdobramento da interação  $P \times \text{SR}$ , foi possível se verificar que o grau de refino tinha efeito significativo sobre a resistência à tração para os tratamentos com 0 %, 33,33 % e 66,66 % Pinus, não se constatando efeito para 100 % Pinus. Conforme se aumentava o grau de refino de 20° SR para 60° SR, a resistência à tração aumentava. No caso de 100 % Pinus observou-se ligeiro aumento, mas esse não foi significativo. Dentro de um mesmo grau de refino, o fator porcentagem de Pinus mostrava influência significativa a 20° SR e 60° SR. Nos baixos graus de refino, o aumento da porcentagem de fibras longas na mistura correspondia a um aumento da resistência à tração. Porém, nos níveis de refino mais altos ocorria o contrário. No início do refino, as resistências se devem provavelmente mais às próprias resistências intrínsecas das fibras. Já no final do refino, as forças de ligação exercem maior papel. Como as fibras curtas do eucalipto são mais ricas em hemiceluloses, é provável que suas forças de ligação sejam melhoradas por essa



característica, o que explicaria suas melhores resistências aos graus de refino maiores.

Finalmente, o desdobramento da interação  $A \times 20^{\circ} \text{SR}$  mostrou que o grau de refino tinha influência sobre a resistência à tração, independente do álcali ativo. O aumento do álcali ativo, por outro lado, causava aumento significativo na resistência à tração apenas no nível de refino  $20^{\circ} \text{SR}$ .

#### 4.7.3. Resistência ao Arrebentamento das Celuloses

Os valores obtidos para a resistência ao arrebentamento das celulosas, expressos como índices de arrebentamento, e suas análises estatísticas, estão apresentados nos Quadros 63 a 72.

QUADRO 63 - Resistência ao Arrebatamento das Celulosas

Tratamentos	20° SR			40° SR			60° SR					
	1. <sup>a</sup>	2. <sup>a</sup>	3. <sup>a</sup>	Média	1. <sup>a</sup>	2. <sup>a</sup>	3. <sup>a</sup>	Média	1. <sup>a</sup>	2. <sup>a</sup>	3. <sup>a</sup>	Média
14 % Na <sub>2</sub> O; H 900												
- 0 % Pinus	31,5	24,5	27,0	27,7	48,5	44,0	47,5	46,7	57,5	50,5	55,5	55,5
- 33,33 % Pinus	40,0	38,5	35,0	37,8	57,0	55,0	52,8	50,2	53,2	63,0	61,5	62,6
- 66,66 % Pinus	52,2	50,0	57,0	53,1	60,8	57,2	65,0	61,0	56,0	60,5	70,0	65,5
- 100 % Pinus	54,0	57,0	55,0	53,3	54,8	63,0	50,0	53,0	57,5	59,5	52,5	56,5
14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100												
- 0 % Pinus	21,0	19,0	21,0	20,3	55,5	51,5	55,8	54,2	63,2	62,0	62,5	63,6
- 33,33 % Pinus	35,0	32,5	32,0	33,2	45,0	42,5	39,5	42,0	50,0	50,0	48,0	49,3
- 66,66 % Pinus	49,5	46,0	53,0	49,5	62,5	58,0	56,0	50,6	65,0	62,0	61,5	62,8
- 100 % Pinus	55,5	54,5	52,5	54,2	62,5	66,0	55,8	61,4	58,0	61,0	57,0	62,2
15 % Na <sub>2</sub> O; H 900												
- 0 % Pinus	35,2	31,5	36,5	34,4	59,5	57,0	56,0	57,5	68,5	72,5	69,0	70,0
- 33,33 % Pinus	44,0	39,0	43,8	43,2	57,0	55,5	55,5	51,0	65,0	65,5	65,0	65,2
- 66,66 % Pinus	48,0	46,0	37,5	43,8	63,0	53,5	49,0	55,2	69,0	58,5	49,0	56,8
- 100 % Pinus	43,5	49,5	45,0	45,3	47,0	59,5	47,5	51,5	50,0	58,5	54,2	54,2
16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100												
- 0 % Pinus	32,5	29,0	31,0	30,8	49,5	49,0	48,0	48,3	56,8	52,5	57,0	55,4
- 33,33 % Pinus	33,5	34,0	33,5	33,7	46,0	47,0	44,0	45,7	55,0	52,2	50,5	52,6
- 66,66 % Pinus	40,0	39,0	47,0	42,0	47,0	45,5	44,0	45,5	50,0	45,0	47,0	47,3
- 100 % Pinus	55,5	54,0	53,5	54,3	56,0	57,5	54,0	55,3	55,0	59,0	59,0	57,7

QUADRO 64 - Análise da Variância da Resistência ao Arrebetamento

Fonte de Variação	GL	QM	F
% Pinus (P)	3	588,95	43,79**
Fator H (H)	1	609,07	37,85**
Alcali ativo (A)	1	110,69	8,23**
Grau de refino ( <sup>o</sup> SR)	2	3852,8	286,51**
P x H	3	364,09	27,07**
P x A	3	383,66	28,53**
H x A	1	113,33	8,43**
P x H x A	3	85,99	6,39**
P x <sup>o</sup> SR	6	459,45	34,17**
H x <sup>o</sup> SR	2	8,77	0,65
A x <sup>o</sup> SR	2	20,65	1,54
P x H x <sup>o</sup> SR	6	20,55	1,53
P x A x <sup>o</sup> SR	6	8,41	0,62
H x A x <sup>o</sup> SR	2	69,82	6,68**
P x H x A x <sup>o</sup> SR	6	42,62	3,17**
Erro	96	13,45	
Total	143		

C.V. = 7,17 %

\*\* Significativo, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 65 - Efeito da Porcentagem de Pinus (P) sobre a Resistência ao Ar rebentamento, de Acordo com o Desdobramento da Interação P x H x A x <sup>o</sup>SR

Fonte de Variação	GL	QM	F
% <u>Pinus</u> / 20 <sup>o</sup> SR; 14 % Na <sub>2</sub> O; H 900	3	514,67	38,27**
% <u>Pinus</u> / 20 <sup>o</sup> SR; 14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	3	722,40	53,72**
% <u>Pinus</u> / 20 <sup>o</sup> SR; 16 % Na <sub>2</sub> O; H 900	3	81,20	6,04**
% <u>Pinus</u> / 20 <sup>o</sup> SR; 16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	3	333,40	24,79**
% <u>Pinus</u> / 40 <sup>o</sup> SR; 14 % Na <sub>2</sub> O; H 900	3	110,0	8,63**
% <u>Pinus</u> / 40 <sup>o</sup> SR; 14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	3	214,30	15,94**
% <u>Pinus</u> / 40 <sup>o</sup> SR; 16 % Na <sub>2</sub> O; H 900	3	20,70	1,54
% <u>Pinus</u> / 40 <sup>o</sup> SR; 16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	3	70,07	5,21**
% <u>Pinus</u> / 60 <sup>o</sup> SR; 14 % Na <sub>2</sub> O; H 900	3	69,42	5,16**
% <u>Pinus</u> / 60 <sup>o</sup> SR; 14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	3	130,70	10,31**
% <u>Pinus</u> / 60 <sup>o</sup> SR; 16 % Na <sub>2</sub> O; H 900	3	144,10	10,72**
% <u>Pinus</u> / 60 <sup>o</sup> SR; 16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	3	50,60	4,44**
Erro	90	13,45	
Total	143		

\*\* Significativo, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 66 - Efeito do Fator H (H) sobre a Resistência ao Arrebentamento, de acordo com o Desdobramento da Interação P x H x A x <sup>0</sup>SR

Fonte de Variação	GL	QM	F
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 20 <sup>0</sup> SR; 0 % <u>Pinus</u>	1	80,66	5,99
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 20 <sup>0</sup> SR; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	32,66	2,43
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 20 <sup>0</sup> SR; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	19,26	1,43
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 20 <sup>0</sup> SR; 100 % <u>Pinus</u>	1	2,04	0,15
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 40 <sup>0</sup> SR; 0 % <u>Pinus</u>	1	85,26	6,41
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 40 <sup>0</sup> SR; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	380,01	28,26**
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 40 <sup>0</sup> SR; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	7,04	0,52
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 40 <sup>0</sup> SR; 100 % <u>Pinus</u>	1	45,37	3,37
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 60 <sup>0</sup> SR; 0 % <u>Pinus</u>	1	98,01	7,29**
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 60 <sup>0</sup> SR; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	203,34	19,58**
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 60 <sup>0</sup> SR; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	10,66	0,79
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 60 <sup>0</sup> SR; 100 % <u>Pinus</u>	1	49,59	3,69
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 20 <sup>0</sup> SR; 0 % <u>Pinus</u>	1	19,26	1,43
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 20 <sup>0</sup> SR; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	137,76	10,24**
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 20 <sup>0</sup> SR; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	5,04	0,37
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 20 <sup>0</sup> SR; 100 % <u>Pinus</u>	1	96,00	7,14**
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 40 <sup>0</sup> SR; 0 % <u>Pinus</u>	1	112,66	8,38**
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 40 <sup>0</sup> SR; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	160,16	11,91**
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 40 <sup>0</sup> SR; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	140,16	10,42**
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 40 <sup>0</sup> SR; 100 % <u>Pinus</u>	1	30,37	2,26
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 60 <sup>0</sup> SR; 0 % <u>Pinus</u>	1	319,01	23,72**
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 60 <sup>0</sup> SR; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	237,51	17,66**
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 60 <sup>0</sup> SR; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	190,37	14,75**
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 60 <sup>0</sup> SR; 100 % <u>Pinus</u>	1	17,51	1,30
Erro	96	13,45	
Total	143		

\*\* Significativo, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 67 - Efeito do Álcali Ativo (A) sobre a Resistência ao Arrebenta-  
mento, de Acordo com o Desdobramento da Interação P x H x A  
x <sup>0</sup>SR

Fonte de Variação	GL	QM	F
Álcali/ H 900; 20 <sup>0</sup> SR; 0 % <u>Pinus</u>	1	68,34	5,08
Álcali/ H 900; 20 <sup>0</sup> SR; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	44,01	3,27
Álcali/ H 900; 20 <sup>0</sup> SR; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	128,34	9,54**
Álcali/ H 900; 20 <sup>0</sup> SR; 100 % <u>Pinus</u>	1	12,50	9,04**
Álcali/ H 900; 40 <sup>0</sup> SR; 0 % <u>Pinus</u>	1	176,04	13,09**
Álcali/ H 900; 40 <sup>0</sup> SR; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	7,59	0,56
Álcali/ H 900; 40 <sup>0</sup> SR; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	51,04	3,79
Álcali/ H 900; 40 <sup>0</sup> SR; 100 % <u>Pinus</u>	1	31,51	2,34
Álcali/ H 900; 60 <sup>0</sup> SR; 0 % <u>Pinus</u>	1	315,37	23,45**
Álcali/ H 900; 60 <sup>0</sup> SR; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	10,01	0,74
Álcali/ H 900; 60 <sup>0</sup> SR; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	66,66	4,96
Álcali/ H 900; 60 <sup>0</sup> SR; 100 % <u>Pinus</u>	1	7,59	0,56
Álcali/ H 1100; 20 <sup>0</sup> SR; 0 % <u>Pinus</u>	1	165,37	12,30**
Álcali/ H 1100; 20 <sup>0</sup> SR; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	0,66	0,05
Álcali/ H 1100; 20 <sup>0</sup> SR; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	84,37	6,27
Álcali/ H 1100; 20 <sup>0</sup> SR; 100 % <u>Pinus</u>	1	0,04	0,003
Álcali/ H 1100; 40 <sup>0</sup> SR; 0 % <u>Pinus</u>	1	44,01	3,27
Álcali/ H 1100; 40 <sup>0</sup> SR; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	16,66	1,24
Álcali/ H 1100; 40 <sup>0</sup> SR; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	266,66	19,83**
Álcali/ H 1100; 40 <sup>0</sup> SR; 100 % <u>Pinus</u>	1	47,76	3,55
Álcali/ H 1100; 60 <sup>0</sup> SR; 0 % <u>Pinus</u>	1	100,04	7,44**
Álcali/ H 1100; 60 <sup>0</sup> SR; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	15,84	1,18
Álcali/ H 1100; 60 <sup>0</sup> SR; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	360,37	26,80**
Álcali/ H 1100; 60 <sup>0</sup> SR; 100 % <u>Pinus</u>	1	31,51	2,34
Erro	96	13,45	
Total	143		

\*\* Significativo, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 68 - Efeito do Grau de Refino ( $^{\circ}$ SR) sobre a Resistência ao Arrebentamento, de Acordo com o Desdobramento da Interação P x H x A x  $^{\circ}$ SR

Fonte de Variação	GL	QM	F
Grau de refino/ 14 % Na <sub>2</sub> O; H 900; 0 % <u>Pinus</u>	2	606,86	45,13**
Grau de refino/ 14 % Na <sub>2</sub> O; H 900; 33,33 % <u>Pinus</u>	2	524,09	38,97**
Grau de refino/ 14 % Na <sub>2</sub> O; H 900; 66,66 % <u>Pinus</u>	2	118,54	8,81**
Grau de refino/ 14 % Na <sub>2</sub> O; H 900; 100 % <u>Pinus</u>	2	1,020	0,07
Grau de refino/ 14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100; 0 % <u>Pinus</u>	2	1554,00	115,56**
Grau de refino/ 14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100; 33,33 % <u>Pinus</u>	2	197,19	14,66**
Grau de refino/ 14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100; 66,66 % <u>Pinus</u>	2	140,44	10,44**
Grau de refino/ 14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100; 100 % <u>Pinus</u>	2	59,29	4,41
Grau de refino/ 16 % Na <sub>2</sub> O; H 900; 0 % <u>Pinus</u>	2	977,63	72,70**
Grau de refino/ 16 % Na <sub>2</sub> O; H 900; 33,33 % <u>Pinus</u>	2	363,46	27,03**
Grau de refino/ 16 % Na <sub>2</sub> O; H 900; 66,66 % <u>Pinus</u>	2	183,44	13,64**
Grau de refino/ 16 % Na <sub>2</sub> O; H 900; 100 % <u>Pinus</u>	2	48,09	3,57
Grau de refino/ 16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100; 0 % <u>Pinus</u>	2	485,84	36,13**
Grau de refino/ 16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100; 33,33 % <u>Pinus</u>	2	274,84	20,44**
Grau de refino/ 16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100; 66,66 % <u>Pinus</u>	2	22,02	1,64
Grau de refino/ 16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100; 100 % <u>Pinus</u>	2	8,36	0,62
Erro	96	13,45	
Total	143		

\*\* Significativo, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 69 - Comparações, pelo Teste de Tukey, entre os Valores Médios de Resistência ao Arrebatamento, na Interação P x H x A x <sup>0</sup>SR: Influência da Porcentagem de Pinus

	<u>Pinus</u> (%)			
	0	33,33	66,66	100
20 <sup>0</sup> SR; 14 % Na <sub>2</sub> O; H 900	27,7 c*	37,8 b	53,1 a	55,3 a
20 <sup>0</sup> SR; 14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	20,3 c	32,2 b	49,5 a	54,2 a
20 <sup>0</sup> SR; 16 % Na <sub>2</sub> O; H 900	34,4 b	43,2 ab	43,8 ab	46,3 a
20 <sup>0</sup> SR; 16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	30,8 c	33,7 bc	42,0 b	54,3 a
40 <sup>0</sup> SR; 14 % Na <sub>2</sub> O; H 900	46,7 b	58,2 a	61,0 a	50,9 ab
40 <sup>0</sup> SR; 14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	54,2 a	42,3 b	58,8 a	61,4 a
40 <sup>0</sup> SR; 16 % Na <sub>2</sub> O; H 900	57,0 a	56,0 a	55,2 a	51,3 a
40 <sup>0</sup> SR; 16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	48,0 ab	45,7 b	45,5 b	55,8 a
60 <sup>0</sup> SR; 14 % Na <sub>2</sub> O; H 900	55,5 b	62,6 ab	63,5 a	50,5 ab
60 <sup>0</sup> SR; 14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	63,6 a	49,3 b	62,8 a	62,2 a
60 <sup>0</sup> SR; 16 % Na <sub>2</sub> O; H 900	70,0 a	65,2 ab	58,8 bc	54,2 c
60 <sup>0</sup> SR; 16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	55,4 ab	52,6 ab	47,3 b	57,7 a

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 1 % de probabilidade.



QUADRO 70 - Comparações entre os Valores Médios de Resistência ao Arrebentamento, na Interação P x H x A x SR: Influência do Fator H

	Fator H	
	900	1100
20° SR; 14 % Na <sub>2</sub> O; 0 % <u>Pinus</u>	27,7 a*	20,3 a
20° SR; 14 % Na <sub>2</sub> O; 33,33 % <u>Pinus</u>	37,8 a	33,2 a
20° SR; 14 % Na <sub>2</sub> O; 66,66 % <u>Pinus</u>	53,1 a	49,5 a
20° SR; 14 % Na <sub>2</sub> O; 100 % <u>Pinus</u>	55,3 a	54,2 a
20° SR; 16 % Na <sub>2</sub> O; 0 % <u>Pinus</u>	34,4 a	30,8 a
20° SR; 16 % Na <sub>2</sub> O; 33,33 % <u>Pinus</u>	43,2 a	33,7 b
20° SR; 16 % Na <sub>2</sub> O; 66,66 % <u>Pinus</u>	43,8 a	42,0 a
20° SR; 16 % Na <sub>2</sub> O; 100 % <u>Pinus</u>	46,3 b	54,3 a
40° SR; 14 % Na <sub>2</sub> O; 0 % <u>Pinus</u>	46,7 a	54,2 a
40° SR; 14 % Na <sub>2</sub> O; 33,33 % <u>Pinus</u>	58,2 a	42,3 b
40° SR; 14 % Na <sub>2</sub> O; 66,66 % <u>Pinus</u>	61,0 a	58,8 a
40° SR; 14 % Na <sub>2</sub> O; 100 % <u>Pinus</u>	55,9 a	61,4 a
40° SR; 16 % Na <sub>2</sub> O; 0 % <u>Pinus</u>	57,0 a	48,0 b
40° SR; 16 % Na <sub>2</sub> O; 33,33 % <u>Pinus</u>	56,0 a	45,7 b
40° SR; 16 % Na <sub>2</sub> O; 66,66 % <u>Pinus</u>	55,2 a	45,5 b
40° SR; 16 % Na <sub>2</sub> O; 100 % <u>Pinus</u>	51,3 a	55,8 a
60° SR; 14 % Na <sub>2</sub> O; 0 % <u>Pinus</u>	55,5 b	63,6 a
60° SR; 14 % Na <sub>2</sub> O; 33,33 % <u>Pinus</u>	62,6 a	49,3 b
60° SR; 14 % Na <sub>2</sub> O; 66,66 % <u>Pinus</u>	63,5 a	62,8 a
60° SR; 14 % Na <sub>2</sub> O; 100 % <u>Pinus</u>	56,5 a	62,2 a
60° SR; 16 % Na <sub>2</sub> O; 0 % <u>Pinus</u>	70,0 a	55,4 b
60° SR; 16 % Na <sub>2</sub> O; 33,33 % <u>Pinus</u>	65,2 a	52,6 b
60° SR; 16 % Na <sub>2</sub> O; 66,66 % <u>Pinus</u>	58,8 a	47,3 b
60° SR; 16 % Na <sub>2</sub> O; 100 % <u>Pinus</u>	54,2 a	57,7 a

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste F, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 71 - Comparações entre os Valores Médios de Resistência ao Arrebentamento, na Interação P x H x A x <sup>0</sup>SR: Influência do Alkali Ativo

	Alkali Ativo, base Na <sub>2</sub> O (%)	
	14	16
20 <sup>0</sup> SR; H 900; 0 % <u>Pinus</u>	27,7 a*	34,4 a
20 <sup>0</sup> SR; H 900; 33,33 % <u>Pinus</u>	37,8 a	43,2 a
20 <sup>0</sup> SR; H 900; 66,66 % <u>Pinus</u>	53,1 a	43,8 b
20 <sup>0</sup> SR; H 900; 100 % <u>Pinus</u>	55,3 a	46,3 b
20 <sup>0</sup> SR; H 1100; 0 % <u>Pinus</u>	20,3 b	30,8 a
20 <sup>0</sup> SR; H 1100; 33,33 % <u>Pinus</u>	33,2 a	33,7 a
20 <sup>0</sup> SR; H 1100; 66,66 % <u>Pinus</u>	49,5 a	42,0 a
20 <sup>0</sup> SR; H 1100; 100 % <u>Pinus</u>	54,2 a	54,3 a
40 <sup>0</sup> SR; H 900; 0 % <u>Pinus</u>	46,7 b	57,0 a
40 <sup>0</sup> SR; H 900; 33,33 % <u>Pinus</u>	58,2 a	56,0 a
40 <sup>0</sup> SR; H 900; 66,66 % <u>Pinus</u>	61,0 a	55,2 a
40 <sup>0</sup> SR; H 900; 100 % <u>Pinus</u>	55,9 a	51,3 a
40 <sup>0</sup> SR; H 1100; 0 % <u>Pinus</u>	54,2 a	48,0 a
40 <sup>0</sup> SR; H 1100; 33,33 % <u>Pinus</u>	42,3 a	45,7 a
40 <sup>0</sup> SR; H 1100; 66,66 % <u>Pinus</u>	58,8 a	45,5 b
40 <sup>0</sup> SR; H 1100; 100 % <u>Pinus</u>	61,4 a	55,8 a
60 <sup>0</sup> SR; H 900; 0 % <u>Pinus</u>	55,5 b	70,0 a
60 <sup>0</sup> SR; H 900; 33,33 % <u>Pinus</u>	62,6 a	65,2 a
60 <sup>0</sup> SR; H 900; 66,66 % <u>Pinus</u>	63,5 a	58,8 a
60 <sup>0</sup> SR; H 900; 100 % <u>Pinus</u>	56,5 a	54,2 a
60 <sup>0</sup> SR; H 1100; 0 % <u>Pinus</u>	63,6 a	55,4 b
60 <sup>0</sup> SR; H 1100; 33,33 % <u>Pinus</u>	49,3 a	52,6 a
60 <sup>0</sup> SR; H 1100; 66,66 % <u>Pinus</u>	62,8 a	47,3 b
60 <sup>0</sup> SR; H 1100; 100 % <u>Pinus</u>	62,2 a	57,7 a

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste F, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 72 - Comparações, pelo Teste de Tukey, entre os Valores Médios de Resistência ao Arrebentamento, na Interação P x H x A x <sup>o</sup>SR: Influência do Grau de Refino

	Grau de Refino ( <sup>o</sup> SR)		
	20	40	60
14 % Na <sub>2</sub> O; H 900; 0 % <u>Pinus</u>	27,7 b*	46,7 a	55,5 a
14 % Na <sub>2</sub> O; H 900; 33,33 % <u>Pinus</u>	37,8 b	58,2 a	62,6 a
14 % Na <sub>2</sub> O; H 900; 66,66 % <u>Pinus</u>	53,1 b	61,0 ab	65,5 a
14 % Na <sub>2</sub> O; H 900; 100 % <u>Pinus</u>	56,5 a	55,9 a	55,3 a
14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100; 0 % <u>Pinus</u>	20,3 c	54,2 b	63,6 a
14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100; 33,33 % <u>Pinus</u>	33,2 b	42,3 a	49,3 a
14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100; 66,66 % <u>Pinus</u>	49,5 b	58,8 a	62,8 a
14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100; 100 % <u>Pinus</u>	62,2 a	61,4 a	54,2 a
16 % Na <sub>2</sub> O; H 900; 0 % <u>Pinus</u>	34,4 c	57,5 b	70,0 a
16 % Na <sub>2</sub> O; H 900; 33,33 % <u>Pinus</u>	43,2 c	56,0 b	65,2 a
16 % Na <sub>2</sub> O; H 900; 66,66 % <u>Pinus</u>	43,8 b	55,2 a	58,8 a
16 % Na <sub>2</sub> O; H 900; 100 % <u>Pinus</u>	54,2 a	51,3 a	46,3 a
16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100; 0 % <u>Pinus</u>	30,8 b	48,8 a	55,4 a
16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100; 33,33 % <u>Pinus</u>	33,7 b	45,7 a	52,6 a
16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100; 66,66 % <u>Pinus</u>	47,3 a	45,5 a	42,0 a
16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100; 100 % <u>Pinus</u>	57,7 a	55,8 a	54,3 a

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 1 % de probabilidade.

A análise da variância para a resistência ao arrebetamento das celulosas está apresentada no Quadro 64. Nesse é possível se notar a grande influência de todos os fatores, a saber, porcentagem de Pinus, fator H, álcali ativo e grau de refino, sobre a resistência em questão. Diversas interações de segunda, terceira e a de quarta ordem foram significativas. Desdobrou-se a interação  $P \times H \times A \times \text{SR}$  nos Quadros 65, 66, 67 e 68.

Praticamente, em quase todas as situações, a porcentagem de Pinus, influenciava significativamente a resistência ao arrebetamento. Em baixos graus de refino, a resistência aumentava conforme se aumentava o teor de fibras longas. A partir de 40<sup>o</sup> SR, as resistências dos tratamentos com 100 % Pinus e 100 % Eucalyptus eram mais ou menos similares, alterando-se superioridade para um ou outro, conforme as condições de cozimento (Quadro 69).

O fator H tinha maior efeito nos casos em que se deslignificava com 16 % de álcali ativo. Na maioria dos casos, o aumento do fator H correspondia a uma diminuição da resistência ao arrebetamento (Quadro 70).

O efeito do álcali ativo era menor e mais irregular, não seguindo um modelo definido (Quadro 71).

Grau de refino exercia efeito positivo sobre a resistência ao arrebetamento: seu aumento de 20 para 60<sup>o</sup> SR era acompanhado pelo aumento dessa resistência, na maioria dos tratamentos (Quadro 72).

#### 4.7.4. Resistência ao Rasgo das Celulosas

Os valores relativos à resistência ao rasgo, expressos pelo índice de rasgo, e suas respectivas análises estatísticas, estão apresentados nos Quadros 73 a 85.

QUADRO 73 -- Resistência ao Rasgo das Celuloses

Tratamentos	20° SR			40° SR			60° SR						
	1. <sup>a</sup>	2. <sup>a</sup>	3. <sup>a</sup>	Média	1. <sup>a</sup>	2. <sup>a</sup>	3. <sup>a</sup>	Média	1. <sup>a</sup>	2. <sup>a</sup>	3. <sup>a</sup>	Média	
14 % Na <sub>2</sub> O; H 900													
- 0 % Pinus	80,5	90,5	92,0	87,7	129,5	122,0	100,0	117,2	103,0	109,5	112,5	108,3	
- 33,33 % Pinus	158,5	147,0	152,8	152,8	130,5	123,5	124,5	126,2	130,0	119,0	119,5	122,8	
- 66,66 % Pinus	156,0	161,8	137,5	151,8	140,5	136,0	115,5	130,7	130,0	123,5	109,0	120,8	
- 100 % Pinus	168,5	148,5	175,5	164,2	159,0	122,5	141,2	140,9	149,5	106,5	124,0	126,7	
14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100													
- 0 % Pinus	89,0	62,5	66,5	72,7	130,8	142,0	129,0	133,9	131,0	127,2	134,5	130,9	
- 33,33 % Pinus	134,0	155,0	137,0	142,0	114,0	127,5	124,0	121,8	110,5	121,5	114,5	115,5	
- 66,66 % Pinus	137,5	126,5	134,0	132,7	119,0	119,5	117,5	119,7	103,0	112,0	107,0	107,3	
- 100 % Pinus	121,5	117,0	128,5	122,3	103,8	99,0	120,0	107,5	95,0	98,0	100,0	97,7	
16 % Na <sub>2</sub> O; H 900													
- 0 % Pinus	103,0	92,0	96,0	97,0	103,2	106,0	99,5	104,9	91,8	96,0	98,0	95,2	
- 33,33 % Pinus	130,0	166,5	137,0	144,2	123,0	117,0	109,0	116,3	99,0	94,0	105,5	99,5	
- 66,66 % Pinus	118,5	127,2	128,0	124,6	103,5	101,2	110,0	104,9	99,0	95,0	98,2	97,4	
- 100 % Pinus	119,0	134,5	118,5	124,0	98,5	104,5	106,5	103,2	84,0	90,0	105,5	93,2	
16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100													
- 0 % Pinus	86,5	118,5	93,0	99,3	93,5	109,5	102,5	101,8	97,5	101,5	100,5	99,8	
- 33,33 % Pinus	127,5	127,0	136,5	130,3	124,0	110,5	113,0	115,3	110,5	98,8	108,5	105,9	
- 66,66 % Pinus	123,0	122,5	127,5	124,3	119,0	105,5	118,0	114,2	100,5	106,5	107,0	104,7	
- 100 % Pinus	119,0	132,0	142,0	131,0	107,5	119,5	114,5	113,8	99,5	106,0	115,5	107,0	

QUADRO 74 - Análise da Variância para Resistência ao Rasgo

Fonte de Variação	GL	QM	F
% <u>Pinus</u> (P)	3	2794,58	32,81**
Fator H (H)	1	665,42	7,81**
Alcali ativo (A)	1	5644,38	66,27**
Grau de refino ( <sup>o</sup> SR)	2	3366,31	39,53**
P x H	3	427,84	5,02**
P x A	3	81,07	0,95
H x A	1	2268,53	26,64**
P x H x A	3	1138,48	13,37**
P x <sup>o</sup> SR	6	2181,16	25,61**
H x <sup>o</sup> SR	2	478,78	5,62**
A x <sup>o</sup> SR	2	337,94	3,97
P x H x <sup>o</sup> SR	6	26,95	0,32
P x A x <sup>o</sup> SR	6	453,84	5,33**
H x A x <sup>o</sup> SR	2	52,42	0,62
P x H x A x <sup>o</sup> SR	6	113,02	1,33
Erro	96	85,16	
Total	143		

C.V. = 7,90 %

\*\* Significativo, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 75 - Efeito da Porcentagem de Pinus (P), Fator H (H) e Álcali Ativo (A) sobre a Resistência ao Rasgo, de Acordo com o Desdobramento da Interação P x H x A

Fonte de Variação	GL	QM	F
% <u>Pinus</u> / 14 % Na <sub>2</sub> O; H 900	3	2644,05	31,05**
% <u>Pinus</u> / 14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	3	530,64	6,23**
% <u>Pinus</u> / 16 % Na <sub>2</sub> O; H 900	3	673,47	7,91**
% <u>Pinus</u> / 16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	3	593,85	6,97**
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 0 % <u>Pinus</u>	1	295,65	3,47
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	251,25	2,95
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	993,84	11,67**
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 100 % <u>Pinus</u>	1	5425,35	63,70**
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 0 % <u>Pinus</u>	1	7,35	0,08
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	31,34	0,37
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	130,68	1,53
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 100 % <u>Pinus</u>	1	496,13	5,83
Álcali/ H 900; 0 % <u>Pinus</u>	1	129,06	1,52
Álcali/ H 900; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	872,32	10,24**
Álcali/ H 900; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	2907,82	34,14**
Álcali/ H 900; 100 % <u>Pinus</u>	1	6207,63	72,89**
Álcali/ H 1100; 0 % <u>Pinus</u>	1	666,92	0,79
Álcali/ H 1100; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	372,07	4,37
Álcali/ H 1100; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	120,92	1,42
Álcali/ H 1100; 100 % <u>Pinus</u>	1	294,82	3,46
Erro	96	85,16	

\*\* Significativo, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 76 - Efeito da Porcentagem de Pinus (P), Álcali Ativo (A) e Grau de Refino ( $^{\circ}$ SR) sobre a Resistência ao Rasgo, de Acordo com o Desdobramento da Interação P x A x  $^{\circ}$ SR

Fonte de Variação	GL	QM	F
% <u>Pinus</u> / 20 $^{\circ}$ SR; 14 % Na <sub>2</sub> O	3	3195,21	72,74**
% <u>Pinus</u> / 20 $^{\circ}$ SR; 16 % Na <sub>2</sub> O	3	1673,57	19,65**
% <u>Pinus</u> / 40 $^{\circ}$ SR; 14 % Na <sub>2</sub> O	3	2,76	0,03
% <u>Pinus</u> / 40 $^{\circ}$ SR; 16 % Na <sub>2</sub> O	3	103,59	1,92
% <u>Pinus</u> / 60 $^{\circ}$ SR; 14 % Na <sub>2</sub> O	3	82,53	0,97
% <u>Pinus</u> / 60 $^{\circ}$ SR; 16 % Na <sub>2</sub> O	3	27,99	0,33
Álcali/ 20 $^{\circ}$ SR; 0 % <u>Pinus</u>	1	972,00	11,41**
Álcali/ 20 $^{\circ}$ SR; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	307,54	3,61
Álcali/ 20 $^{\circ}$ SR; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	945,19	11,10**
Álcali/ 20 $^{\circ}$ SR; 100 % <u>Pinus</u>	1	744,19	8,74**
Álcali/ 40 $^{\circ}$ SR; 0 % <u>Pinus</u>	1	1475,20	17,32**
Álcali/ 40 $^{\circ}$ SR; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	188,02	2,21
Álcali/ 40 $^{\circ}$ SR; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	686,30	8,06**
Álcali/ 40 $^{\circ}$ SR; 100 % <u>Pinus</u>	1	744,19	8,74**
Álcali/ 60 $^{\circ}$ SR; 0 % <u>Pinus</u>	1	1453,02	17,18**
Álcali/ 60 $^{\circ}$ SR; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	612,63	9,54**
Álcali/ 60 $^{\circ}$ SR; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	510,26	5,99
Álcali/ 60 $^{\circ}$ SR; 100 % <u>Pinus</u>	1	438,02	5,14
Grau de refino/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 0 % <u>Pinus</u>	2	3051,71	42,88**
Grau de refino/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 33,33 % <u>Pinus</u>	2	1335,46	16,03**
Grau de refino/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 66,66 % <u>Pinus</u>	2	1210,73	14,21**
Grau de refino/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 100 % <u>Pinus</u>	2	1473,18	17,30**
Grau de refino/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 0 % <u>Pinus</u>	2	91,54	0,72
Grau de refino/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 33,33 % <u>Pinus</u>	2	1020,04	21,37**
Grau de refino/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 66,66 % <u>Pinus</u>	2	840,09	9,90**
Grau de refino/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 100 % <u>Pinus</u>	2	1103,51	13,89**
Erro	96	35,16	

\*\* Significativo, ao nível de 1 % de probabilidade.



QUADRO 77 - Efeito do Fator H (H) e Grau de Refino ( $^{\circ}$ SR) sobre a Resistência ao Rasgo, de Acordo com o Desdobramento da Interação H x  $^{\circ}$ SR

Fonte de Variação	GL	QM	F
Fator H/ 20 $^{\circ}$ SR	1	1566,92	18,40**
Fator H/ 40 $^{\circ}$ SR	1	51,71	0,61
Fator H/ 60 $^{\circ}$ SR	1	4,30	0,05
Grau de refino/ H 900	2	3122,70	36,67**
Grau de refino/ H 1100	2	722,30	8,48**
Erro	96	85,16	

\*\* Significativo, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 78 - Comparações, pelo Teste de Tukey, entre os Valores Médios de Resistência ao Rasgo, na Interação P x H x A: Influência da Porcentagem de Pinus

	<u>Pinus</u> (%)			
	0	33,33	66,66	100
14 % Na <sub>2</sub> O; H 900	104,4 b*	133,9 a	134,4 a	143,9 a
14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	112,5 ab	126,4 a	119,0 ab	109,2 b
16 % Na <sub>2</sub> O; H 900	99,1 b	120,0 a	109,0 ab	106,8 ab
16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	100,3 b	117,4 a	114,4 a	117,4 a

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 79 - Comparações entre os Valores Médios para Resistência ao Rasgo, na Interação P x H x A: Influência do Fator H

	Fator H	
	900	1100
14 % Na <sub>2</sub> O; 0 % <u>Pinus</u>	104,4 a*	112,5 a
14 % Na <sub>2</sub> O; 33,33 % <u>Pinus</u>	133,9 a	126,4 a
14 % Na <sub>2</sub> O; 66,66 % <u>Pinus</u>	134,4 a	119,6 b
14 % Na <sub>2</sub> O; 100 % <u>Pinus</u>	143,9 a	109,2 b
16 % Na <sub>2</sub> O; 0 % <u>Pinus</u>	99,1 a	100,3 a
16 % Na <sub>2</sub> O; 33,33 % <u>Pinus</u>	120,0 a	117,4 a
16 % Na <sub>2</sub> O; 66,66 % <u>Pinus</u>	109,0 a	114,4 a
16 % Na <sub>2</sub> O; 100 % <u>Pinus</u>	106,8 a	117,4 a

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste F, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 80 - Comparações entre os Valores Médios para Resistência ao Rasgo, na Interação P x H x A: Influência do Alkali Ativo

	Alkali Ativo, base Na <sub>2</sub> O (%)	
	14	16
H 900; 0 % <u>Pinus</u>	104,4 a*	99,1 a
H 900; 33,33 % <u>Pinus</u>	133,9 a	120,0 b
H 900; 66,66 % <u>Pinus</u>	134,4 a	109,0 b
H 900; 100 % <u>Pinus</u>	143,9 a	106,8 b
H 1100; 0 % <u>Pinus</u>	112,5 a	100,3 a
H 1100; 33,33 % <u>Pinus</u>	126,4 a	117,4 a
H 1100; 66,66 % <u>Pinus</u>	119,6 a	114,4 a
H 1100; 100 % <u>Pinus</u>	109,2 a	117,4 a

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste F, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 81 - Comparações, pelo Teste de Tukey, entre os Valores Médios de Resistência ao Rasgo, na Interação P x A x <sup>o</sup>SR: Influência da Porcentagem de Pinus

	<u>Pinus</u> (%)			
	0	33,33	66,66	100
20 <sup>o</sup> SR; 14 % Na <sub>2</sub> O	80,2 b*	147,4 a	142,2 a	143,2 a
20 <sup>o</sup> SR; 16 % Na <sub>2</sub> O	98,2 b	137,2 a	124,5 a	127,5 a
40 <sup>o</sup> SR; 14 % Na <sub>2</sub> O	125,6 a	124,0 a	124,7 a	124,2 a
40 <sup>o</sup> SR; 16 % Na <sub>2</sub> O	103,4 a	116,1 a	109,5 a	108,5 a
60 <sup>o</sup> SR; 14 % Na <sub>2</sub> O	119,6 a	119,2 a	114,1 a	112,2 a
60 <sup>o</sup> SR; 16 % Na <sub>2</sub> O	97,5 a	102,7 a	101,0 a	100,1 a

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 82 - Comparações entre os Valores Médios de Resistência ao Rasgo, na Interação P x A x <sup>o</sup>SR: Influência do Álcali Ativo

	Álcali Ativo, base Na <sub>2</sub> O (%)	
	14	16
0 % <u>Pinus</u> ; 20 <sup>o</sup> SR	80,2 b*	98,2 a
0 % <u>Pinus</u> ; 40 <sup>o</sup> SR	125,6 a	103,4 b
0 % <u>Pinus</u> ; 60 <sup>o</sup> SR	119,6 a	97,5 b
33,33 % <u>Pinus</u> ; 20 <sup>o</sup> SR	147,4 a	137,2 a
33,33 % <u>Pinus</u> ; 40 <sup>o</sup> SR	124,0 a	116,1 a
33,33 % <u>Pinus</u> ; 60 <sup>o</sup> SR	119,2 a	102,7 b
66,66 % <u>Pinus</u> ; 20 <sup>o</sup> SR	142,2 a	124,5 b
66,66 % <u>Pinus</u> ; 40 <sup>o</sup> SR	124,7 a	109,5 b
66,66 % <u>Pinus</u> ; 60 <sup>o</sup> SR	114,1 a	101,0 a
100 % <u>Pinus</u> ; 20 <sup>o</sup> SR	143,2 a	127,5 b
100 % <u>Pinus</u> ; 40 <sup>o</sup> SR	124,2 a	108,5 b
100 % <u>Pinus</u> ; 60 <sup>o</sup> SR	112,2 a	100,1 a

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste F, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 83 - Comparações, pelo Teste de Tukey, entre os Valores Médios de Resistência ao Rasgo, na Interação P x A x <sup>o</sup>SR: Influência do Grau de Refino

	Grau de Refino ( <sup>o</sup> SR)		
	20	40	60
14 % Na <sub>2</sub> O; 0 % <u>Pinus</u>	80,2 b*	125,6 a	119,6 a
14 % Na <sub>2</sub> O; 33,33 % <u>Pinus</u>	147,4 a	124,0 b	119,2 b
14 % Na <sub>2</sub> O; 66,66 % <u>Pinus</u>	142,2 a	124,7 b	114,1 b
14 % Na <sub>2</sub> O; 100 % <u>Pinus</u>	143,2 a	124,2 b	112,2 b
16 % Na <sub>2</sub> O; 0 % <u>Pinus</u>	98,2 a	103,4 a	97,5 a
16 % Na <sub>2</sub> O; 33,33 % <u>Pinus</u>	137,2 a	116,1 b	102,7 b
16 % Na <sub>2</sub> O; 66,66 % <u>Pinus</u>	124,5 a	109,5 ab	101,0 b
16 % Na <sub>2</sub> O; 100 % <u>Pinus</u>	127,5 a	108,5 b	100,1 b

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 84 - Comparações entre os Valores Médios de Resistência ao Rasgo, na Interação H x <sup>o</sup>SR: Influência do Grau de Refino

	Grau de Refino ( <sup>o</sup> SR)		
	20	40	60
H 900	130,8 a*	118,0 b	108,0 c
H 1100	119,3 a	116,0 ab	108,6 b

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 85 - Comparações entre os Valores Médios de Resistência ao Rasgo, na Interação H x <sup>o</sup>SR: Influência do Fator H

	Fator H	
	900	1100
20 <sup>o</sup> SR	130,8 a*	119,3 b
40 <sup>o</sup> SR	118,0 a	116,0 a
60 <sup>o</sup> SR	108,0 a	108,6 a

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste F, ao nível de 1 % de probabilidade.

A análise da variância para a resistência ao rasgo das celuloses está apresentada no Quadro 74. Foram observados efeitos significativos dos fatores percentagem de Pinus, fator H, álcali ativo e grau de refino. As interações P x H x A e P x A x <sup>o</sup>SR foram também significativas, daí terem sido desdobradas, conforme mostram os Quadros 75 e 76.

O desdobramento da interação P x H x A mostrou que: a) a percentagem de Pinus exercia ação significativa sobre a resistência ao rasgo em todos os níveis dos outros dois fatores; b) tanto o fator H como o álcali ativo tinham influência sobre a resistência ao rasgo, quando as condições de cozimento eram suaves para um deles, e para altas proporções de madeira de Pinus. O aumento de cada um (Quadro 79 e 80) resultava em diminuição da resistência ao rasgo, em algumas ocasiões. Isso significa, que aumentando-se a deslignificação para esses tratamentos, alterava-se significativamente a resistência ao rasgo.

No Quadro de número 78 pode se observar que nas condições suaves de cozimento (14 % Na<sub>2</sub>O; H 900) quanto maior era a percentagem de Pinus, maior era a resistência ao rasgo. Entretanto, a adição de apenas 33,33 % de Pinus era suficiente para aumentar bastante essa resistência. Conforme as condições de cozimento passavam por valores intermediários (14 % Na<sub>2</sub>O; H 1100 e 16 % Na<sub>2</sub>O; H 900), as melhores resistências ocorriam para os tratamentos com 33,33 % Pinus e 66,66 % Pinus. Para as

condições mais drásticas (16 %  $\text{Na}_2\text{O}$ ; H 1100) as resistências caíam, mas os tratamentos que continham Pinus mostravam-nas maiores.

O desdobramento da interação  $P \times A \times \text{SR}$  mostrou que: a) o grau de refino exercia efeito significativo sobre a resistência ao rasgo; b) a porcentagem de Pinus só mostrava efeito significativo a 20<sup>o</sup> SR, quando as fibras longas ainda eram pouco refinadas e permitiam alcançar altas resistências; c) o efeito de álcali ativo ocorria em diversos casos.

Nos Quadros 81, 82 e 83 estão apresentadas as influências de cada um dos fatores da interação  $P \times A \times \text{SR}$ . A 20<sup>o</sup> SR era bem notável a influência da porcentagem de Pinus. Apenas 33,33 % Pinus resultava em aumento significativo dessa resistência. A 40<sup>o</sup> SR e 60<sup>o</sup> SR não foram constatadas diferenças significativas para os índices de rasgo.

Na maioria dos casos onde se notou significância de influência do álcali ativo, seu aumento resultou em diminuição da resistência ao rasgo.

Foi bastante evidente a forma como o grau de refino atuou. Com polpas contendo apenas fibras de Eucalyptus, conforme se aumentava o grau de refino de 20<sup>o</sup> SR para 40<sup>o</sup> SR e depois para 60<sup>o</sup> SR, a resistência aumentava e depois de passar por um ponto mais alto a 40<sup>o</sup> SR, caía. A adição de fibras longas, em quaisquer das proporções estudadas, resultava sempre na queda da resistência ao rasgo com a intensificação do refino.

Também a interação  $H \times \text{SR}$  mostrou-se significativa. Seu desdobramento no Quadro 77 revelou que: a) o fator H exerceu efeito significativo a 20<sup>o</sup> SR; b) o grau de refino influenciava significativamente a resistência ao rasgo, aos dois níveis de fator H. Importante verificação (Quadro 85) é que a 20<sup>o</sup> SR, o aumento do fator H provocava diminuição significativa do índice de rasgo.

#### 4.7.5. Esticamento das Celuloses

Os valores relativos ao esticamento das celuloses, expressos em porcentagem, e suas respectivas análises estatísticas, estão apresentados nos Quadros 86 a 94.



QUADRO 86 - Esticamento das Celuloses (%)

Tratamentos	20° SR			40° SR			60° SR					
	1. <sup>a</sup>	2. <sup>a</sup>	3. <sup>a</sup>	Média	1. <sup>a</sup>	2. <sup>a</sup>	3. <sup>a</sup>	Média	1. <sup>a</sup>	2. <sup>a</sup>	3. <sup>a</sup>	Média
	14 % Na <sub>2</sub> O; H 900											
- 0 % <u>Pinus</u>	2,60	2,08	2,15	2,28	4,25	4,08	3,65	3,99	4,55	4,15	4,65	4,45
- 33,33 % <u>Pinus</u>	1,60	2,55	2,35	2,17	2,20	3,55	3,15	2,57	2,40	3,45	3,40	3,08
- 66,66 % <u>Pinus</u>	3,03	2,65	2,70	2,79	3,35	3,48	2,90	3,24	3,50	3,60	3,05	3,38
- 100 % <u>Pinus</u>	3,13	2,10	1,93	2,39	3,30	2,40	2,10	2,30	3,35	2,13	2,10	2,53
14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100												
- 0 % <u>Pinus</u>	0,85	0,80	0,70	0,78	2,15	1,60	3,50	2,42	2,50	2,80	3,60	2,97
- 33,33 % <u>Pinus</u>	2,73	3,00	2,85	2,86	2,90	3,45	3,20	3,13	3,40	3,80	3,60	3,60
- 66,66 % <u>Pinus</u>	2,25	2,30	2,50	2,35	2,65	2,50	2,53	2,53	2,75	2,65	2,60	2,67
- 100 % <u>Pinus</u>	2,80	2,55	2,53	2,66	3,00	2,75	2,45	2,70	3,10	2,90	2,80	2,93
16 % Na <sub>2</sub> O; H 900												
- 0 % <u>Pinus</u>	2,45	2,30	1,80	2,18	3,85	3,50	3,80	3,72	4,15	4,40	4,10	4,22
- 33,33 % <u>Pinus</u>	2,65	2,55	2,40	2,53	2,90	2,45	2,90	2,75	3,40	3,20	3,25	3,28
- 66,66 % <u>Pinus</u>	2,05	2,30	2,33	2,23	2,70	2,55	2,50	2,58	2,50	2,65	2,45	2,53
- 100 % <u>Pinus</u>	2,65	2,70	2,45	2,60	2,75	2,50	2,75	2,57	2,75	2,75	2,80	2,77
16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100												
- 0 % <u>Pinus</u>	2,10	2,25	2,35	2,23	2,75	3,30	3,05	3,37	3,55	3,60	4,00	3,72
- 33,33 % <u>Pinus</u>	2,20	2,25	2,30	2,25	2,60	2,45	2,65	2,57	2,80	3,15	3,15	3,03
- 66,66 % <u>Pinus</u>	2,20	2,15	2,50	2,28	2,55	2,60	2,50	2,55	2,30	2,50	2,95	2,58
- 100 % <u>Pinus</u>	3,05	3,45	3,80	3,43	2,90	4,20	4,20	3,77	2,65	4,10	3,95	3,57

QUADRO 87 - Análise da Variância para Esticamento

Fonte de Variação	GL	QM	F
% <u>Pinus</u> (P)	3	0,8879	6,52**
Fator H (H)	1	0,5136	3,77
Álcali ativo (A)	1	0,2085	1,53
Grau de refino ( <sup>o</sup> SR)	2	8,8411	64,94**
P x H	3	3,5683	26,21**
P x A	3	1,7916	13,16**
H x A	1	1,8541	13,62**
P x H x A	3	1,5521	11,40**
P x <sup>o</sup> SR	6	2,1313	15,65**
H x <sup>o</sup> SR	2	0,0599	0,44
A x <sup>o</sup> SR	2	0,1050	0,77
P x H x <sup>o</sup> SR	6	0,0201	0,15
P x A x <sup>o</sup> SR	6	0,0490	0,36
H x A x <sup>o</sup> SR	2	0,0584	0,43
P x H x A x <sup>o</sup> SR	6	0,0477	0,53
Erro	96	0,1361	
Total	143		

C.V. = 12,93 %

\*\* Significativo, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 88 - Efeito da Porcentagem de Pinus (P), Fator H (H) e Álcali Ativo (A) sobre o Esticamento, de Acordo com o Desdobramento da Interação P x H x A

Fonte de Variação	GL	QM	F
% <u>Pinus</u> / 14 % Na <sub>2</sub> O; H 900	3	2,0504	15,06**
% <u>Pinus</u> / 14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	3	2,1746	15,97**
% <u>Pinus</u> / 16 % Na <sub>2</sub> O; H 900	3	1,2729	9,35**
% <u>Pinus</u> / 16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	3	2,3119	16,98**
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 0 % <u>Pinus</u>	1	10,5868	77,76**
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	1,2381	9,09**
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	1,9193	14,09**
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 100 % <u>Pinus</u>	1	0,5511	4,05
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 0 % <u>Pinus</u>	1	0,8626	6,34
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	0,4772	3,50
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	0,2231	1,64
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 100 % <u>Pinus</u>	1	1,8705	13,74**
Álcali/ H 900; 0 % <u>Pinus</u>	1	0,1820	1,34
Álcali/ H 900; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	0,0612	0,45
Álcali/ H 900; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	2,1563	15,84**
Álcali/ H 900; 100 % <u>Pinus</u>	1	1,0320	7,58**
Álcali/ H 1100; 0 % <u>Pinus</u>	1	3,9668	29,13**
Álcali/ H 1100; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	1,6080	11,81**
Álcali/ H 1100; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	0,1280	0,94
Álcali/ H 1100; 100 % <u>Pinus</u>	1	2,9768	21,86**
Erro	96	0,1361	

\*\* Significativo, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 89 - Efeito da Porcentagem de Pinus (P) e Grau de Refino (<sup>o</sup>SR) sobre o Esticamento, de Acordo com o Desdobramento da Interação P x <sup>o</sup>SR

Fonte de Variação	GL	QM	F
% <u>Pinus</u> / 20 <sup>o</sup> SR	3	1,6774	12,32**
% <u>Pinus</u> / 40 <sup>o</sup> SR	3	0,9178	6,74**
% <u>Pinus</u> / 60 <sup>o</sup> SR	3	2,5552	18,77**
Grau de refino/ 0 % <u>Pinus</u>	2	12,7046	93,31**
Grau de refino/ 33,33 % <u>Pinus</u>	2	1,9089	14,02**
Grau de refino/ 66,66 % <u>Pinus</u>	2	0,4988	3,66
Grau de refino/ 100 % <u>Pinus</u>	2	0,1226	0,90
Erro	96	0,1361	

\*\* Significativo, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 90 - Comparações, pelo Teste de Tukey, entre os Valores Médios de Esticamento, na Interação P x H x A: Influência da Porcentagem de Pinus

	<u>Pinus (%)</u>			
	0	33,33	66,66	100
14 % Na <sub>2</sub> O; H 900	3,57 a*	2,74 bc	3,14 ab	2,50 c
14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	2,05 c	3,21 a	2,53 bc	2,77 ab
16 % Na <sub>2</sub> O; H 900	3,37 a	2,86 ab	2,45 b	2,98 ab
16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	2,99 b	2,62 b	2,47 b	3,59 a

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 91 - Comparações entre os Valores Médios para Esticamento, na Interação P x H x A: Influência do Fator H

	<u>Fator H</u>	
	900	1100
14 % Na <sub>2</sub> O; 0 % <u>Pinus</u>	3,57 a*	2,05 b
14 % Na <sub>2</sub> O; 33,33 % <u>Pinus</u>	2,74 b	3,21 a
14 % Na <sub>2</sub> O; 66,66 % <u>Pinus</u>	3,14 a	2,53 b
14 % Na <sub>2</sub> O; 100 % <u>Pinus</u>	2,50 a	2,77 a
16 % Na <sub>2</sub> O; 0 % <u>Pinus</u>	3,37 a	2,99 a
16 % Na <sub>2</sub> O; 33,33 % <u>Pinus</u>	2,86 a	2,62 a
16 % Na <sub>2</sub> O; 66,66 % <u>Pinus</u>	2,45 a	2,47 a
16 % Na <sub>2</sub> O; 100 % <u>Pinus</u>	2,98 b	3,59 a

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste F, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 92 - Comparações entre os Valores Médios para Esticamento, na Interação P x H x A: Influência do Álcali Ativo

	Álcali Ativo, base Na <sub>2</sub> O (%)	
	14	16
H 900; 0 % <u>Pinus</u>	3,57 a*	3,37 a
H 900; 33,33 % <u>Pinus</u>	2,74 a	2,86 a
H 900; 66,66 % <u>Pinus</u>	3,14 a	2,45 b
H 900; 100 % <u>Pinus</u>	2,50 b	2,98 a
H 1100; 0 % <u>Pinus</u>	2,05 b	2,99 a
H 1100; 33,33 % <u>Pinus</u>	3,21 a	2,62 b
H 1100; 66,66 % <u>Pinus</u>	2,53 a	2,47 a
H 1100; 100 % <u>Pinus</u>	2,77 b	3,59 a

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste F, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 93 - Comparações, pelo Teste de Tukey, entre os Valores Médios de Esticamento, na Interação P x <sup>o</sup>SR: Influência da Porcentagem de Pinus

	<u>Pinus</u> (%)			
	0	33,33	66,66	100
20 <sup>o</sup> SR	1,87 b*	2,45 a	2,41 a	2,77 a
40 <sup>o</sup> SR	3,37 a	2,87 b	2,73 b	2,94 ab
60 <sup>o</sup> SR	3,84 a	3,25 b	2,79 b	2,95 b

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 94 - Comparações, pelo Teste de Tukey, entre os Valores Médios de Esticamento, na Interação P x <sup>o</sup>SR; Influência do Grau de Refino

	Grau de Refino ( <sup>o</sup> SR)		
	20	40	60
0 % <u>Pinus</u>	1,87 c*	3,37 b	3,84 a
33,33 % <u>Pinus</u>	2,45 b	2,87 ab	3,25 a
66,66 % <u>Pinus</u>	2,41 a	2,73 a	2,79 a
100 % <u>Pinus</u>	2,77 a	2,94 a	2,95 a

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 1 % de probabilidade.

A análise da variância para o esticamento das celuloses está apresentada no Quadro 87. Ela indicava que os fatores porcentagem de Pinus e grau de refino exerciam efeito significativo sobre o esticamento. Tendo em vista a significância de diversas interações, fez-se necessário desdobrar as interações P x H x A e P x <sup>o</sup>SR (Quadros 88 e 89, respectivamente).

O desdobramento da interação P x H x A revelou que: a) a porcentagem de madeira de Pinus tinha influência significativa sobre o esticamento, em quaisquer condições de fator H e álcali ativo; b) álcali ativo e fator H apresentavam influência, mas não seguiam modelo uniforme.

Analisando-se os Quadros 90, 91 e 92, de efeitos médios dos fatores da interação P x H x A, verificou-se que: a) na condição de cozimento mais suave (14 % Na<sub>2</sub>O; H 900), talvez pelo fato das polpas contendo Pinus estarem ainda com altos teores de lignina, o esticamento decresceu conforme se aumentava a porcentagem de Pinus na mistura; b) o inverso ocorreu na condição mais drástica de cozimento (16 % Na<sub>2</sub>O; H 1100); c) nas condições de cozimento intermediárias (14 % Na<sub>2</sub>O; H 1100 e 16 % Na<sub>2</sub>O; H 900), os melhores resultados foram obtidos para as polpas contendo pequena proporção de fibras longas.

O desdobramento da interação  $P \times \text{SR}$  no Quadro 89 revelou que: a) a porcentagem de Pinus mostrava efeito significativo aos três níveis de grau de refino; b) o grau de refino influenciava o esticamento nos tratamentos com 0 % Pinus e 33,33 % Pinus.

Nos Quadros de médias, de números 93 e 94, verificou-se que: a) a  $20^{\circ}$  SR, a polpa de eucalipto mostrava o menor esticamento, mas essa situação se revertia a  $40^{\circ}$  SR e  $60^{\circ}$  SR; b) o aumento do grau de refino era acompanhado pelo aumento do esticamento.

Importante consideração é que, também aqui se verifica que a polpa de Eucalyptus mostra grande potencial para ligação inter-fibras a partir de  $40^{\circ}$  SR, alcançando-se ótimas propriedades por efeito de uma melhor união e ligação de suas fibras curtas.

#### 4.7.6. Densidade Aparente das Folhas de Celulose

Os valores da densidade aparente das folhas de celulose, expressos em  $\text{g/cm}^3$ , assim como suas análises estatísticas, estão apresentados nos Quadros 95 a 103.



QUADRO 95 - Densidade Aparente das Folhas de Celulose ( $\text{g/cm}^3$ )

Tratamentos	20° SR					40° SR					60° SR					
	1. <sup>a</sup>	2. <sup>a</sup>	3. <sup>a</sup>	Média	1. <sup>a</sup>	2. <sup>a</sup>	3. <sup>a</sup>	Média	1. <sup>a</sup>	2. <sup>a</sup>	3. <sup>a</sup>	Média	1. <sup>a</sup>	2. <sup>a</sup>	3. <sup>a</sup>	Média
	14 % Na <sub>2</sub> O; H 900	0,510	0,510	0,515	0,512	0,580	0,595	0,585	0,587	0,650	0,615	0,645	0,637	0,650	0,615	0,645
- 0 % Pinus	0,528	0,535	0,528	0,530	0,593	0,600	0,595	0,596	0,620	0,615	0,615	0,617	0,620	0,615	0,615	0,617
- 33,33 % Pinus	0,603	0,560	0,585	0,583	0,625	0,580	0,610	0,605	0,640	0,605	0,625	0,623	0,640	0,605	0,625	0,623
- 66,66 % Pinus	0,585	0,565	0,570	0,573	0,628	0,595	0,580	0,601	0,640	0,605	0,575	0,607	0,640	0,605	0,575	0,607
14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	0,480	0,445	0,455	0,460	0,583	0,580	0,580	0,581	0,600	0,610	0,610	0,607	0,600	0,610	0,610	0,607
- 0 % Pinus	0,570	0,565	0,565	0,567	0,620	0,590	0,610	0,607	0,640	0,626	0,640	0,635	0,640	0,626	0,640	0,635
- 33,33 % Pinus	0,635	0,608	0,600	0,614	0,530	0,640	0,640	0,635	0,530	0,650	0,695	0,625	0,630	0,650	0,695	0,625
- 66,66 % Pinus	0,608	0,590	0,605	0,601	0,620	0,595	0,630	0,615	0,630	0,620	0,640	0,630	0,630	0,620	0,640	0,630
16 % Na <sub>2</sub> O; H 900	0,530	0,540	0,535	0,535	0,600	0,598	0,595	0,598	0,650	0,650	0,630	0,643	0,650	0,650	0,630	0,643
- 0 % Pinus	0,565	0,555	0,565	0,562	0,610	0,605	0,615	0,610	0,635	0,640	0,630	0,635	0,635	0,640	0,630	0,635
- 33,33 % Pinus	0,580	0,578	0,580	0,579	0,610	0,608	0,600	0,606	0,620	0,625	0,625	0,623	0,620	0,625	0,625	0,623
- 66,66 % Pinus	0,550	0,580	0,580	0,572	0,570	0,600	0,583	0,564	0,590	0,625	0,600	0,615	0,590	0,625	0,600	0,615
16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	0,545	0,530	0,495	0,523	0,610	0,600	0,560	0,590	0,625	0,648	0,600	0,624	0,625	0,648	0,600	0,624
- 0 % Pinus	0,535	0,523	0,530	0,529	0,550	0,555	0,560	0,553	0,575	0,590	0,580	0,582	0,575	0,590	0,580	0,582
- 33,33 % Pinus	0,585	0,560	0,585	0,577	0,600	0,580	0,630	0,603	0,590	0,580	0,640	0,603	0,590	0,580	0,640	0,603
- 66,66 % Pinus	0,650	0,640	0,660	0,650	0,650	0,660	0,625	0,645	0,675	0,670	0,660	0,668	0,675	0,670	0,660	0,668

QUADRO 96 - Análise da Variância para Densidade Aparente

Fonte de Variação	GL	QM	F
% <u>Pinus</u> (P)	3	0,011000	23,82**
Fator H (H)	1	0,000272	0,59
Álcali ativo (A)	1	0,000642	1,39
Grau de refino ( <sup>o</sup> SR)	2	0,048445	104,92**
P x H	3	0,007174	15,54**
P x A	3	0,002966	6,42**
H x A	1	0,000434	0,94
P x H x A	3	0,005100	11,05**
P x <sup>o</sup> SR	6	0,005882	12,74**
H x <sup>o</sup> SR	2	0,000486	1,05
A x <sup>o</sup> SR	2	0,000408	0,84
P x H x <sup>o</sup> SR	6	0,000378	0,82
P x A x <sup>o</sup> SR	6	0,000485	1,05
H x A x <sup>o</sup> SR	2	0,000087	0,19
P x H x A x <sup>o</sup> SR	6	0,000193	0,42
Erro	96	0,000462	
Total	143		

C.V. = 3,62 %

\*\* Significativo, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 97 - Efeito da Porcentagem de Pinus (P), Fator H (H) e Álcali Ativo (A) sobre a Densidade Aparente, de Acordo com o Desdobramento da Interação P x H x A

Fonte de Variação	GL	QM	F
% <u>Pinus</u> / 14 % Na <sub>2</sub> O; H 900	3	0,001244	2,69
% <u>Pinus</u> / 14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	3	0,008815	19,09**
% <u>Pinus</u> / 16 % Na <sub>2</sub> O; H 900	3	0,000394	0,85
% <u>Pinus</u> / 16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	3	0,015792	34,20**
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 0 % <u>Pinus</u>	1	0,003813	8,26**
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	0,002134	4,62
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	0,000501	1,08
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 100 % <u>Pinus</u>	1	0,002112	4,57
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 0 % <u>Pinus</u>	1	0,000735	1,59
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	0,009430	20,42**
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	0,000321	0,70
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 100 % <u>Pinus</u>	1	0,018496	40,06**
Álcali/ H 900; 0 % <u>Pinus</u>	1	0,000840	1,82
Álcali/ H 900; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	0,002027	4,39
Álcali/ H 900; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	0,000003	0,01
Álcali/ H 900; 100 % <u>Pinus</u>	1	0,000050	0,11
Álcali/ H 1100; 0 % <u>Pinus</u>	1	0,004050	8,77**
Álcali/ H 1100; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	0,009660	20,92**
Álcali/ H 1100; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	0,001760	3,81
Álcali/ H 1100; 100 % <u>Pinus</u>	1	0,006884	14,91**
Erro	96	0,000462	

\*\* Significativo, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 98 - Efeito da Percentagem de Pinus (P) e do Grau de Refino ( $^{\circ}$ SR) sobre a Densidade Aparente, de Acordo com o Desdobramento da Interação P x  $^{\circ}$ SR

Fonte de Variação	GL	QM	F
% <u>Pinus</u> / 20 $^{\circ}$ SR	3	0,020974	45,42**
% <u>Pinus</u> / 40 $^{\circ}$ SR	3	0,001294	2,80
% <u>Pinus</u> / 60 $^{\circ}$ SR	3	0,000496	1,07
Grau de refino/ 0 % <u>Pinus</u>	2	0,045179	97,84**
Grau de refino/ 33,33 % <u>Pinus</u>	2	0,015193	32,91**
Grau de refino/ 66,66 % <u>Pinus</u>	2	0,002794	6,05**
Grau de refino/ 100 % <u>Pinus</u>	2	0,002923	6,33**
Erro	96	0,000462	

\*\* Significativo, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 99 - Comparações, pelo Teste de Tukey, entre os Valores Médios de Densidade Aparente, na Interação P x H x A: Influência da Percentagem de Pinus

	<u>Pinus</u> (%)			
	0	33,33	66,66	100
14 % Na <sub>2</sub> O; H 900	0,578 a*	0,581 a	0,604 a	0,594 a
14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	0,549 b	0,603 a	0,614 a	0,615 a
16 % Na <sub>2</sub> O; H 900	0,592 a	0,602 a	0,603 a	0,590 a
16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	0,579 c	0,556 c	0,594 b	0,654 a

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 100 - Comparações entre os Valores Médios para Densidade Aparente, na Interação P x H x A: Influência do Fator H

	Fator H	
	900	1100
14 % Na <sub>2</sub> O; 0 % <u>Pinus</u>	0,578 a*	0,549 b
14 % Na <sub>2</sub> O; 33,33 % <u>Pinus</u>	0,581 a	0,603 a
14 % Na <sub>2</sub> O; 66,66 % <u>Pinus</u>	0,604 a	0,614 a
14 % Na <sub>2</sub> O; 100 % <u>Pinus</u>	0,594 a	0,615 a
16 % Na <sub>2</sub> O; 0 % <u>Pinus</u>	0,592 a	0,579 a
16 % Na <sub>2</sub> O; 33,33 % <u>Pinus</u>	0,602 a	0,556 b
16 % Na <sub>2</sub> O; 66,66 % <u>Pinus</u>	0,603 a	0,594 a
16 % Na <sub>2</sub> O; 100 % <u>Pinus</u>	0,590 b	0,654 a

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste F, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 101 - Comparações entre os Valores Médios para Densidade Aparente, na Interação P x H x A: Influência do Álcali Ativo

	Álcali Ativo, base Na <sub>2</sub> O (%)	
	14	16
H 900; 0 % <u>Pinus</u>	0,578 a*	0,592 a
H 900; 33,33 % <u>Pinus</u>	0,581 a	0,602 a
H 900; 66,66 % <u>Pinus</u>	0,604 a	0,603 a
H 900; 100 % <u>Pinus</u>	0,594 a	0,590 a
H 1100; 0 % <u>Pinus</u>	0,549 b	0,579 a
H 1100; 33,33 % <u>Pinus</u>	0,603 a	0,556 b
H 1100; 66,66 % <u>Pinus</u>	0,614 a	0,594 a
H 1100; 100 % <u>Pinus</u>	0,615 b	0,654 a

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste F, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 102 - Comparações, pelo Teste de Tukey, entre os Valores Médios de Densidade Aparente, na Interação P x <sup>o</sup>SR: Influência da Porcentagem de Pinus

	<u>Pinus (%)</u>			
	0	33,33	66,66	100
20 <sup>o</sup> SR	0,507 c*	0,547 b	0,588 a	0,599 a
40 <sup>o</sup> SR	0,588 a	0,593 a	0,604 a	0,611 a
60 <sup>o</sup> SR	0,623 a	0,617 a	0,619 a	0,630 a

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 103 - Comparações, pelo Teste de Tukey, entre os Valores Médios de Densidade Aparente, na Interação P x <sup>o</sup>SR: Influência do Grau de Refino

	<u>Grau de refino (<sup>o</sup>SR)</u>		
	20	40	60
0 % <u>Pinus</u>	0,507 c*	0,588 b	0,628 a
33,33 % <u>Pinus</u>	0,547 b	0,593 a	0,617 a
66,66 % <u>Pinus</u>	0,588 b	0,604 ab	0,619 a
100 % <u>Pinus</u>	0,599 b	0,611 ab	0,630 a

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 1 % de probabilidade.

A análise da variância para a densidade aparente está apresentada no Quadro 96. Notou-se que os fatores porcentagem de Pinus e grau de refino mostraram-se significativos. Em razão de diversas interações terem sido significativas, desdobraram-se as interações P x H x A e P x <sup>o</sup>SR (Quadros 97 e 98, respectivamente).

No desdobramento de P x H x A verificou-se que: a) a porcentagem de Pinus apresentava efeito significativo apenas para os tratamentos com fator H 1100; b) fator H e álcali ativo mostravam efeitos significativos esparsos dentro dos diversos tratamentos. Dentro do nível de fator H 900 não foram constatadas diferenças entre as densidades aparentes das folhas. Para o fator H 1100, a densidade aumentou de 0 % Pinus para 100 % Pinus (Quadro 99). Isso prova que as fibras longas e largas dos Pinus mostram tendência a se colapsarem com o refino, quando mais deslignificadas.

O desdobramento de P x <sup>o</sup>SR mostrou que: a) o grau de refino influenciava significativamente a densidade aparente das folhas de celulose obtidas de quaisquer proporções de Pinus; b) a porcentagem de Pinus mostrava efeito significativo a 20<sup>o</sup> SR. No Quadro 102 observa-se que nesse grau de refino, a densidade aparente aumentava com o aumento da porcentagem de Pinus. Nos demais, não foram constatadas diferenças significativas.

Quanto à influência do grau de refino, maior o grau, maior era a densidade aparente, nas condições do ensaio (Quadro 103).

#### 4.7.7. Volume Específico Aparente das Folhas de Celulose

Os valores encontrados para o volume específico aparente das folhas de celulose, expressos em cm<sup>3</sup>/g, assim como suas análises estatísticas, estão apresentados nos Quadros 104 a 112.

QUADRO 104 - Volume Especifico Aparente das Folhas de Celulose (cm<sup>3</sup>/g)

Tratamentos	20° SR				40° SR				60° SR			
	1. <sup>a</sup>	2. <sup>a</sup>	3. <sup>a</sup>	Média	1. <sup>a</sup>	2. <sup>a</sup>	3. <sup>a</sup>	Média	1. <sup>a</sup>	2. <sup>a</sup>	3. <sup>a</sup>	Média
14 % Na <sub>2</sub> O; H 900												
- 0 % Pinus	1,961	1,961	1,942	1,955	1,724	1,681	1,709	1,705	1,538	1,626	1,550	1,571
- 33,33 % Pinus	1,894	1,869	1,894	1,886	1,696	1,667	1,681	1,681	1,613	1,626	1,626	1,621
- 66,66 % Pinus	1,658	1,786	1,709	1,718	1,600	1,653	1,600	1,617	1,563	1,653	1,600	1,605
- 100 % Pinus	1,709	1,770	1,754	1,745	1,592	1,681	1,724	1,665	1,562	1,653	1,739	1,651
14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100												
- 0 % Pinus	2,083	3,247	2,198	2,176	1,715	1,724	1,724	1,721	1,667	1,639	1,639	1,648
- 33,33 % Pinus	1,754	1,770	1,770	1,765	1,613	1,695	1,639	1,649	1,563	1,600	1,533	1,575
- 66,66 % Pinus	1,575	1,645	1,667	1,629	1,887	1,563	1,563	1,671	1,887	1,538	1,439	1,621
- 100 % Pinus	1,645	1,695	1,653	1,664	1,613	1,681	1,587	1,627	1,587	1,612	1,563	1,587
16 % Na <sub>2</sub> O; H 900												
- 0 % Pinus	1,887	1,852	1,869	1,869	1,667	1,672	1,681	1,673	1,538	1,538	1,537	1,554
- 33,33 % Pinus	1,770	1,802	1,770	1,779	1,639	1,653	1,626	1,639	1,575	1,563	1,587	1,575
- 66,66 % Pinus	1,724	1,730	1,724	1,727	1,639	1,645	1,667	1,660	1,613	1,600	1,600	1,605
- 100 % Pinus	1,818	1,709	1,724	1,748	1,754	1,667	1,715	1,712	1,695	1,600	1,587	1,626
16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100												
- 0 % Pinus	1,835	1,887	2,020	1,912	1,639	1,667	1,786	1,695	1,600	1,543	1,667	1,602
- 33,33 % Pinus	1,869	1,912	1,887	1,890	1,818	1,770	1,786	1,792	1,739	1,695	1,724	1,718
- 66,66 % Pinus	1,709	1,786	1,709	1,733	1,667	1,724	1,587	1,653	1,695	1,724	1,563	1,658
- 100 % Pinus	1,538	1,563	1,515	1,538	1,538	1,515	1,600	1,550	1,481	1,493	1,515	1,497



QUADRO 105 - Análise da Variância para Volume Específico Aparente

Fonte de Variação	GL	QM	F
% <u>Pinus</u> (P)	3	0,110420	29,72**
Fator H (H)	1	0,000002	0,01
Alcali ativo (A)	1	0,007139	1,92
Grau de refino ( <sup>o</sup> SR)	2	0,443443	119,39**
P x H	3	0,058592	15,77**
P x A	3	0,027850	7,49**
H x A	1	0,002025	0,55
P x H x A	3	0,042340	11,39**
P x <sup>o</sup> SR	6	0,068165	18,34**
H x <sup>o</sup> SR	2	0,002315	0,62
A x <sup>o</sup> SR	2	0,007133	1,92
P x H x <sup>o</sup> SR	6	0,006283	1,69
P x A x <sup>o</sup> SR	6	0,006354	1,71
H x A x <sup>o</sup> SR	2	0,000814	0,22
P x H x A x <sup>o</sup> SR	6	0,003845	1,03
Erro	96	0,003716	
Total	143		

C.V. = 3,50 %

\*\* Significativo, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 106 - Efeito da Porcentagem de Pinus (P), Fator H (H) e Álcali Ativo (A) sobre o Volume Específico Aparente, de Acordo com o Desdobramento da Interação P x H x A

Fonte de Variação	GL	QM	F
% <u>Pinus</u> / 14 % Na <sub>2</sub> O; H 900	3	0,172347	46,38**
% <u>Pinus</u> / 14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	3	0,096825	26,05**
% <u>Pinus</u> / 16 % Na <sub>2</sub> O; H 900	3	0,003753	1,01
% <u>Pinus</u> / 16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	3	0,121389	32,67**
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 0 % <u>Pinus</u>	1	0,049508	13,32**
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	0,019933	5,36
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	0,000186	0,05
Fator H/ 14 % Na <sub>2</sub> O; 100 % <u>Pinus</u>	1	0,016684	4,49
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 0 % <u>Pinus</u>	1	0,006923	1,86
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	0,082012	22,07**
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	0,002738	0,74
Fator H/ 16 % Na <sub>2</sub> O; 100 % <u>Pinus</u>	1	0,126840	34,14**
Álcali/ H 900; 0 % <u>Pinus</u>	1	0,008933	2,40
Álcali/ H 900; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	0,018753	5,05
Álcali/ H 900; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	0,000800	0,22
Álcali/ H 900; 100 % <u>Pinus</u>	1	0,000401	0,11
Álcali/ H 1100; 0 % <u>Pinus</u>	1	0,054670	14,71**
Álcali/ H 1100; 33,33 % <u>Pinus</u>	1	0,084460	22,73**
Álcali/ H 1100; 66,66 % <u>Pinus</u>	1	0,008889	2,39
Álcali/ H 1100; 100 % <u>Pinus</u>	1	0,042827	11,53**
Erro	96	0,003716	

\*\* Significativo, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 107 - Efeito da Porcentagem de Pinus (P) e do Grau de Refino ( $^{\circ}$ SR) sobre o Volume Específico Aparente, de Acordo com o Desdobramento da Interação P x  $^{\circ}$ SR

Fonte de Variação	GL	QM	F
% <u>Pinus</u> / 20 $^{\circ}$ SR	3	0,232470	62,56**
% <u>Pinus</u> / 40 $^{\circ}$ SR	3	0,010551	2,84
% <u>Pinus</u> / 60 $^{\circ}$ SR	3	0,003729	1,00
Grau de refino/ 0 % <u>Pinus</u>	2	0,473260	127,37**
Grau de refino/ 33,33 % <u>Pinus</u>	2	0,134102	36,09**
Grau de refino/ 66,66 % <u>Pinus</u>	2	0,019338	5,20**
Grau de refino/ 100 % <u>Pinus</u>	2	0,021248	5,72**
Erro	96	0,003716	

\*\* Significativo, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 108 - Comparações, pelo Teste de Tukey, entre os Valores Médios de Volume Específico Aparente, na Interação P x H x A: Influência da Porcentagem de Pinus

	<u>Pinus</u> (%)			
	0	33,33	66,66	100
14 % Na <sub>2</sub> O; H 900	1,743 a*	1,729 ab	1,647 b	1,687 ab
14 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	1,848 a	1,663 b	1,640 b	1,626 b
16 % Na <sub>2</sub> O; H 900	1,699 a	1,665 a	1,660 a	1,690 a
16 % Na <sub>2</sub> O; H 1100	1,738 ab	1,800 a	1,685 b	1,528 c

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 109 - Comparações entre os Valores Médios para Volume Específico Aparente, na Interação P x H x A: Influência do Fator H

	Fator H	
	900	1100
14 % Na <sub>2</sub> O; 0 % <u>Pinus</u>	1,743 b*	1,848 a
14 % Na <sub>2</sub> O; 33,33 % <u>Pinus</u>	1,729 a	1,663 a
14 % Na <sub>2</sub> O; 66,66 % <u>Pinus</u>	1,647 a	1,640 a
14 % Na <sub>2</sub> O; 100 % <u>Pinus</u>	1,687 a	1,626 a
16 % Na <sub>2</sub> O; 0 % <u>Pinus</u>	1,699 a	1,738 a
16 % Na <sub>2</sub> O; 33,33 % <u>Pinus</u>	1,665 b	1,800 a
16 % Na <sub>2</sub> O; 66,66 % <u>Pinus</u>	1,660 a	1,685 a
16 % Na <sub>2</sub> O; 100 % <u>Pinus</u>	1,690 a	1,528 b

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste F, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 110 - Comparações entre os Valores Médios para Volume Específico Aparente, na Interação P x H x A: Influência do Álcali Ativo

	Álcali Ativo, base Na <sub>2</sub> O (%)	
	14	16
H 900; 0 % <u>Pinus</u>	1,743 a*	1,699 a
H 900; 33,33 % <u>Pinus</u>	1,729 a	1,665 a
H 900; 66,66 % <u>Pinus</u>	1,647 a	1,660 a
H 900; 100 % <u>Pinus</u>	1,687 a	1,690 a
H 1100; 0 % <u>Pinus</u>	1,848 a	1,738 b
H 1100; 33,33 % <u>Pinus</u>	1,663 b	1,800 a
H 1100; 66,66 % <u>Pinus</u>	1,640 a	1,685 a
H 1100; 100 % <u>Pinus</u>	1,626 a	1,528 b

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste F, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 111 - Comparações, pelo Teste de Tukey, entre os Valores Médios de Volume Específico Aparente, na Interação P x <sup>o</sup>SR: Influência da Porcentagem de Pinus

	<u>Pinus</u> (%)			
	0	33,33	66,66	100
20 <sup>o</sup> SR	1,978 a*	1,830 b	1,702 c	1,674 c
40 <sup>o</sup> SR	1,699 a	1,690 a	1,649 a	1,639 a
60 <sup>o</sup> SR	1,594 a	1,623 a	1,623 a	1,590 a

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO 112 - Comparações, pelo Teste de Tukey, entre os Valores Médios de Volume Específico Aparente, na Interação P x <sup>o</sup>SR: Influência do Grau de Refino

	Grau de Refino ( <sup>o</sup> SR)		
	20	40	60
0 % <u>Pinus</u>	1,978 a*	1,699 b	1,594 c
33,33 % <u>Pinus</u>	1,830 a	1,690 b	1,623 b
66,66 % <u>Pinus</u>	1,700 a	1,649 ab	1,623 b
100 % <u>Pinus</u>	1,674 a	1,639 ab	1,590 b

\* Na mesma linha, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 1 % de probabilidade.

A análise da variância para o volume específico aparente das folhas de celulose está apresentada no Quadro 105. Ela revelou efeito significativo dos fatores porcentagem de Pinus e grau de refino. Frente às significâncias de interações, tornou-se necessário desdobrar P x H x A e P x <sup>o</sup>SR (Quadros 106 e 107, respectivamente).

No desdobramento de P x H x A verificou-se que: a) a porcentagem de Pinus não apresentava significância apenas para os níveis pré-fixa-

dos de 16 %  $\text{Na}_2\text{O}$ ; H 900; b) fator H e álcali ativo mostravam efeitos significativos esparsos dentro dos diversos tratamentos. No Quadro 108, observava-se que o aumento da porcentagem de Pinus tinha como resultado uma diminuição do volume específico aparente.

O desdobramento de  $P \times \text{SR}$  revelou que: a) o grau de refino influenciava significativamente o volume específico aparente das folhas de celulose, obtidas de quaisquer proporções de Pinus; b) a porcentagem de Pinus mostrava efeito significativo a 20<sup>o</sup> SR. No Quadro 111 observa-se que nesse grau de refino, o volume específico aparente diminuía significativamente com o aumento do teor de madeira de Pinus na mistura enviada ao cozimento.

## 5. RESUMO E CONCLUSÕES

O presente estudo teve como objetivo verificar o comportamento para produção de celulose kraft, de misturas de cavacos de madeira de Pinus strobus var. chiapensis e Eucalyptus urophylla de origem híbrida. Foram utilizadas para as pesquisas, quatro dosagens de madeira de P. strobus na mistura (0 %; 33,33 %; 66,66 % e 100 %). Paralelamente às misturas de madeira, procurou-se verificar a influência das condições do cozimento kraft, como álcali ativo (14 e 16 %  $\text{Na}_2\text{O}$ ) e fator H (900 e 1100). As demais condições foram mantidas constantes.

Para o estudo das propriedades na deslignificação, como rendimentos, teor de rejeitos, número kappa e viscosidade, os tratamentos foram dispostos segundo um esquema fatorial  $4 \times 2 \times 2$ , para os fatores porcentagem de Pinus, fator H e álcali ativo, respectivamente, em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições.

Após produzidas e depuradas, as celuloses foram refinadas em moinho Jokro Muhle para desenvolverem características físico-mecânicas. Os valores referentes às seguintes propriedades foram graficamente interpolados para 20, 40 e 60<sup>o</sup> SR: tempo de refino, resistências à tração, ao arrebentamento e ao rasgo, esticamento, densidade aparente e volume específico aparente.

Para o estudo das propriedades físico-mecânicas, os tratamentos

foram dispostos segundo um esquema fatorial  $4 \times 2 \times 2 \times 3$  para os fatores porcentagem de Pinus, fator H, álcali ativo e grau de refino, respectivamente, em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições.

Em todos os casos, foram efetuadas as análises da variância e as comparações das médias eram realizadas através dos testes de Tukey e F, ao nível de 1 % de probabilidade.

Os resultados e as conclusões foram as seguintes:

a) As misturas de madeiras de P. strobus e E. urophylla para cozimento kraft são viáveis e permitem a obtenção de polpas com qualidades as mais diversas, sendo que a proporção ideal depende das características desejadas no produto final.

b) Frente às características químicas e anatômicas diferentes das duas madeiras, ambas se comportavam de maneira diferente durante a deslignificação e transmitiam suas características às misturas em que fazem parte.

c) A madeira de Pinus strobus, pelo fato de possuir mais lignina, é de mais difícil deslignificação, para conversão a polpa, que a de Eucalyptus urophylla. Com isso, requeria condições mais drásticas de cozimento.

d) Embora se tenham tentado diferentes combinações de fator H e álcali ativo, a madeira de P. strobus suportaria condições ainda mais severas de cozimento, para maior deslignificação. Já a madeira de Eucalyptus urophylla seria provavelmente degradada se as condições de cozimento fossem intensificadas.

e) Um sério problema da mistura de madeira de P. strobus à de E. urophylla, para produção de celulose, constitui-se no teor de rejeitos da polpa, que é proporcional ao teor da madeira de conífera. Altos teores de rejeitos são prejudiciais porque sobrecarregam o sistema de depuração industrial.

f) A madeira de Pinus strobus, possuindo menor densidade e conduzindo a polpas com menores rendimentos, provoca um maior consumo de ma-



deira por tonelada do produto final, quando deslignificada com o Eucalyptus urophylla.

g) As vantagens que as fibras longas do P. strobus conferiam à celulose, em termos de suas propriedades físico-mecânicas eram: maiores resistências ao rasgo, à tração e ao arrebetamento e esticamento, todos no início do refino.

h) As desvantagens conferidas pelo P. strobus em mistura na polpa eram: tempo de refino elevado para se atingir grau de refino pré-estabelecido, densidade aparente alta já no início do refino e resistência à tração inferior, nos altos níveis de refino.

i) Apenas 33,33 % de madeira de Pinus na mistura são suficientes para incorporar à celulose, boa parte das características desejáveis das fibras longas.

j) As celuloses de E. urophylla demoram mais para ganhar resistências no início do refino. Entretanto, já a 40<sup>o</sup> SR as polpas de Eucalyptus urophylla estavam mostrando alta capacidade de ligação entre fibras, o que se refletia em boas propriedades, como resistência à tração e ao arrebetamento e esticamento.

l) As condições de cozimento influenciam as propriedades das polpas. O modelo de influência depende do tipo de material deslignificado.

## 6. LITERATURA CITADA

1. ARLOV, A. P. Beating and blending of bleached softwood and hardwood pulps. Svensk Papperstidning, 66(9): 333-42, 1963.
2. ARONOVSKY, S. I.; SEIDL, A. J.; KINGSBURY, R.M. Straw pulp/wood blends for various types of papers. TAPPI, Atlanta, 35: 351-6, 1952.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. Normas Técnicas ABNT. Rio de Janeiro [s.d.].
4. ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL, São Paulo. Normas Técnicas ABCP. São Paulo [s.d.].
5. BARRICHELO, L. E. G. & FOELKEL, C. E. B. Produção de celulose sulfato a partir de misturas de madeira de Eucalyptus saligna com pequenas proporções de cavacos de Bambusa vulgaris var. vitatta. IPEF, Piracicaba, 11: 93-9, 1975.
6. BLOMQUIST, L. Mixed and separate beating of birch and pine sulphates in a conical laboratory beater. In: EUCEPA SYMPOSIUM, 6, Stockholm, 1962. Proceedings of the 6<sup>th</sup> EUCEPA Symposium and 8<sup>th</sup> European TAPPI Meeting. Stockholm, 1962. 7p.
7. BOUCHAYER, H. Influence du raffinage séparé ou en mélange du pâtes de feuilleux et de résineux. In: EUCEPA Symposium, 6, Stockholm, 1962. Proceedings of the 6<sup>th</sup> EUCEPA Symposium and 8<sup>th</sup> European TAPPI Meeting. Stockholm, 1962. p.20-1 - 20-8.
8. CHEN, R.; GARCEAU, J. J.; KOKTA, B. V. Hardwood mixed with softwood in kraft pulping; optimization of utilization. TAPPI, Atlanta, 61 (7): 35-8, 1978.


9. FERREIRA, M. Estudo da variação da densidade básica da madeira de Eucalyptus alba Reinw e Eucalyptus saligna Smith. IPEF, Piracicaba, 1: 83-90, 1970.
10. FOELKEL, C. E. B. Estrutura da madeira. Belo Oriente, CENIBRA, 1977. 84p.
11. \_\_\_\_\_. Rendimentos em celulose sulfato de Eucalyptus spp em função do grau de deslignificação e da densidade da madeira. IPEF, Piracicaba, 9: 61-77, 1974.
12. \_\_\_\_\_. & BARRICHELO, L. E. B. Misturas de celulose de Eucalyptus saligna e Pinus caribaea var. caribaea. IPEF, Piracicaba, 11: 63-70, 1975.
13. \_\_\_\_\_. & \_\_\_\_\_. Relações entre características da madeira e propriedades da celulose e papel. O Papel, São Paulo, 36(9): 49-53, 1975.
14. \_\_\_\_\_. & \_\_\_\_\_. Variações nas propriedades físico-mecânicas da celulose kraft de Araucaria angustifolia quando substituída parcialmente por celulose de Eucalyptus saligna. Trabalhos Técnicos ABCP: 131-5, 1974.
15. \_\_\_\_\_.; DINIZ, A. S.; GARCIA, J.; FERREIRA, M. Estudo da influência da densidade da madeira nas propriedades das celuloses kraft de Pinus elliottii obtidas a uma mesma condições de cozimento. O Papel, São Paulo, 36(10): 65-9, 1975.
16. \_\_\_\_\_.; KATO, J.; ZVINAKEVICIUS, C.; SILVA, A. R. da. O uso de misturas de madeira de Eucalyptus grandis com pequenas proporções de madeiras de espécies nativas para produção de celulose kraft. Revista Árvore, Viçosa, 2(2): 200-13, dez. 1978.
17. HATTON, J. V. Thin chips give highest screened yields in mixed softwood/hardwood kraft pulping. TAPPI, Atlanta, 60(5): 116-7, 1977.
18. KOSAYA, G. S.; KARPOVA, E. V.; KASATKNA, A. V. Kraft pulping of softwood/hardwood blends. Dumazh. Prom., 39(2): 3-5, 1964.
19. McEWEN, R. L. & SHELDON, F. R. Paper web bleaching. U. S. Patent nº 2.580.598, May 27, 1952.
20. MYSLINSKA, Z. Use of unbleached sulphate pulp in the manufacture of newsprint. Przyklad Papier, 7: 66-70, 1951.

21. PECKMAN, J. H. & MAY, M. N. Refining of softwood and hardwood kraft pulps separately and as mixtures. TAPPI, Atlanta, 42: 556-8, 1959.
22. TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY, Atlanta. Introduction to Pulping Technology. Atlanta, 1970. p.III-2. (TAPPI Homestudy Course, 2).
23. \_\_\_\_\_. TAPPI Standard Methods. Atlanta |s.d.|.

APÊNDICE

PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DAS CELULOSES  
KRAFT NÃO-BRANQUEADAS

## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	25	50	75	100
Grau de moagem, °SR	16,0	23,0	35,0	48,0	72,0
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	64,50	63,82	62,77	61,95	60,16
Auto-ruptura, km	3,86	5,96	7,36	8,04	9,13
Índice de arrebentamento	11,8	35,6	46,1	50,1	66,1
Índice de rasgo	65,0	97,0	135,1	115,7	98,6
Esticamento, %	1,73	3,10	4,03	4,32	5,10
Espessura, 	143,80	116,52	108,40	101,56	90,20
Densidade aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,448	0,548	0,579	0,610	0,667
Volume específico aparente, cm <sup>3</sup> /g	2,232	1,825	1,727	1,639	1,499

\* Condições de cozimento: Álcali ativo, como Na<sub>2</sub>O = 14 %

Fator H = 900

% de Pinus = 0 %

Repetição: 1.<sup>a</sup>

## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	25	40	75	90
Grau de moagem, $^{\circ}$ SR	10,0	24,0	34,0	48,5	70,5
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	62,90	61,85	61,75	60,60	59,11
Auto-ruptura, km	3,47	5,08	6,95	7,04	7,98
Índice de arrebentamento	11,5	33,1	40,6	50,0	54,3
Índice de rasgo	69,3	105,6	123,3	109,3	103,9
Esticamento, %	1,27	2,93	4,15	4,00	4,90
Espessura, $\mu$	130,00	112,20	103,80	98,00	92,28
Densidade aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,490	0,551	0,595	0,513	0,641
Volume específico aparente, cm <sup>3</sup> /g	2,221	1,815	1,681	1,631	1,550

\* Condições de cozimento: Álcali ativo, como Na<sub>2</sub>O = 14 %

Fator H = 900

% de Pinus = 0 %

Repetição = 3.

## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	25	40	75	90
Grau de moagem, °SR	16,0	23,0	29,0	47,0	70,5
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	63,98	63,61	62,45	61,91	59,56
Auto-ruptura, km	3,11	5,92	8,92	8,02	8,91
Índice de arrebatamento	12,5	34,2	40,8	53,0	61,0
Índice de rasgo	55,0	116,9	105,2	111,1	107,9
Esticamento, %	1,17	2,68	3,42	4,0	4,81
Espessura, $\mu$	140,88	114,00	109,00	100,88	93,28
Densidade aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,454	0,557	0,573	0,614	0,638
Volume específico aparente, cm <sup>3</sup> /g	2,202	1,795	1,745	1,629	1,567

\* Condições de cozimento: Álcali ativo, como Na<sub>2</sub>O = 14 %

. Fator H = 900

% de Pinus = 0 %

Repetição = 3<sup>ª</sup>



## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	30	60	90	120
Grau de moagem, $^{\circ}$ SR	17,0	23,5	34,0	44,0	67,0
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	63,89	62,07	61,91	61,18	60,32
Auto-ruptura, km	3,41	6,22	7,23	7,78	8,29
Índice de arrebentamento	19,7	43,0	54,1	90,5	65,0
Índice de rasgo	153,3	157,2	137,0	120,5	130,0
Esticamento, %	0,97	1,76	2,12	2,18	2,39
Espessura, $\mu$	141,43	111,56	105,16	102,00	96,44
Densidade aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,462	0,556	0,588	0,595	0,625
Volume específico aparente, cm <sup>3</sup> /g	2,172	1,798	1,700	1,680	1,600

\* Condições de cozimento: Álcali ativo, como Na<sub>2</sub>O = 14 %

Fator H = 900

% de Pinus = 33,33 %

Repetição = 1.<sup>a</sup>

## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	30	60	90	120
Grau de moagem, °SR	16,5	22,5	32,5	47,0	72,5
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	65,25	63,31	62,65	62,07	60,74
Auto-ruptura, km	3,61	6,61	8,02	8,68	8,64
Índice de arrebatamento	21,9	45,5	62,1	63,9	67,0
Índice de rasgo	132,6	149,2	130,7	122,4	112,8
Esticamento, %	1,30	2,88	3,35	3,45	3,66
Espessura, μm	146,00	114,00	106,00	102,88	96,24
Densidade aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,447	0,555	0,587	0,603	0,631
Volume específico aparente, cm <sup>3</sup> /g	2,237	1,801	1,703	1,658	1,585

\* Condições de cozimento: Álcali ativo, como Na<sub>2</sub>O = 14 %

Fator H = 900

% de Pinus = 33,33 %

Repetição = 2.<sup>a</sup>

## Propriedades físico-mecânicas das colúlozes kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	30	60	90	120
Grau de moagem, °SR	15,0	22,5	30,0	39,0	70,0
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	64,30	63,03	61,60	61,11	60,29
Auto-ruptura, km	4,17	7,17	6,71	7,06	9,10
Índice de arrebentamento	21,5	42,9	53,4	52,9	65,5
Índice de rasgo	153,0	150,8	141,3	126,7	119,4
Esticamento, %	1,62	2,70	3,05	3,09	3,47
Espessura, μ	143,04	114,72	106,88	103,08	96,48
Densidade aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,449	0,549	0,576	0,593	0,625
Volume específico aparente, cm <sup>3</sup> /g	2,227	1,821	1,736	1,686	1,600

\* Condições de cozimento: Álcali ativo, como Na<sub>2</sub>O = 14 %

Fator H = 900

% de Pinus = 33,33 %

Repetição = 3.<sup>a</sup>

## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	35	70	110	145
Grau de moagem, ° SR	14,0	18,0	24,0	44,0	68,0
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	65,89	63,89	62,74	61,85	60,38
Auto-ruptura, km	3,42	5,91	7,85	7,90	8,94
Índice de arrebentamento	20,9	44,4	56,2	62,4	68,2
Índice de rasgo	224,5	166,6	151,5	135,8	128,8
Esticamento, %	1,87	2,73	3,15	3,39	3,53
Espessura, μ	149,68	115,92	102,88	99,10	96,32
Densidade aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,440	0,551	0,610	0,624	0,627
Volume específico aparente, cm <sup>3</sup> /g	2,273	1,815	1,639	1,603	1,595


\* Condições de cozimento: Álcali ativo, como Na<sub>2</sub>O = 14 %

Fator H = 900

% de Pinus = 66,66 %

Repetição = 1.<sup>a</sup>

## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	35	73	105	143
Grau de moagem, °SR	14,0	18,5	28,0	42,0	67,0
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	64,27	62,87	62,17	60,77	60,23
Auto-ruptura, km	3,38	6,20	6,69	6,84	8,62
Índice de arrebentamento	22,0	46,1	56,2	57,5	64,4
Índice de rasgo	243,2	167,8	149,3	133,8	121,5
Esticamento, %	1,69	2,54	3,01	3,45	3,47
Espessura, 	144,04	114,52	107,80	103,68	96,88
Densidade aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,444	0,549	0,577	0,586	0,622
Volume específico aparente, cm <sup>3</sup> /g	2,252	1,821	1,733	1,706	1,608

\* Condições de cozimento: Alkali ativo, como Na<sub>2</sub>O = 14 %

Fator H = 900

% de Pinus = 66,66 %

Repetição = 2.<sup>a</sup>

## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	35	70	105	140
Grau de moagem, °SR	14,0	16,5	23,0	40,0	60,0
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	65,22	63,76	63,12	62,71	59,88
Auto-ruptura, km	3,84	6,70	7,33	8,22	9,19
Índice de arrebentamento	22,0	52,8	56,0	65,1	69,8
Índice de rasgo	208,5	148,6	135,4	115,6	109,0
Esticamento, %	1,34	2,43	2,76	2,91	3,24
Espessura, mm	146,84	113,40	105,80	102,92	95,96
Densidade aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,444	0,562	0,591	0,609	0,624
Volume específico aparente, cm <sup>3</sup> /g	2,252	1,779	1,692	1,692	1,602


\* Condições de cozimento: Álcali ativo, como Na<sub>2</sub>O = 14 %

Fator H = 900

% de Pinus = 66,66 %

Repetição = 3.<sup>a</sup>

## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	40	80	120	160
Grau de moagem, °SR	13,0	13,0	17,0	33,0	63,0
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	68,61	65,60	64,87	64,36	63,70
Auto-ruptura, km	3,53	5,26	6,13	6,54	6,70
Índice de arrebentamento	24,4	44,8	53,4	54,7	58,4
Índice de rasgo	286,2	198,0	171,8	162,1	148,2
Esticamento, %	1,87	2,87	3,11	3,15	3,34
Espessura, 	155,92	120,60	112,40	103,60	99,80
Densidade aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,440	0,544	0,577	0,621	0,638
Volume específico aparente, cm <sup>3</sup> /g	2,273	1,838	1,733	1,610	1,567

\* Condições de cozimento: Álcali ativo, como Na<sub>2</sub>O = 14 %

Fator H = 900

% de Pinus = 100 %

Repetição = 1.<sup>a</sup>

## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	40	80	120	160
Grau de moagem, °SR	12,0	13,0	18,0	32,0	64,0
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	63,22	62,29	60,67	60,25	58,06
Auto-ruptura, km	2,56	4,77	5,99	6,92	7,05
Índice de arrebatamento	18,8	40,5	55,2	62,6	60,6
Índice de rasgo	242,5	217,5	153,5	132,0	104,6
Esticamento, %	0,80	1,73	2,03	2,39	2,06
Espessura, $\mu$	150,37	118,17	107,80	101,83	96,10
Densidade aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,421	0,526	0,562	0,591	0,604
Volume específico aparente, cm <sup>3</sup> /g	2,375	1,901	1,760	1,692	1,655

\* Condições de cozimento: Álcali ativo, como Na<sub>2</sub>O = 14 %

Fator H = 900

% de Pinus = 100 %

Repetição = 2.<sup>a</sup>



## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	40	80	120	160
Grau de moagem, $^{\circ}$ SR	12,0	13,0	20,0	36,0	64,5
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	64,52	62,04	60,93	59,49	57,39
Auto-ruptura, km	2,70	5,12	6,37	6,19	6,44
Índice de arrebatamento	19,4	41,3	64,8	50,4	54,3
Índice de rasgo	287,4	209,4	176,3	145,8	121,6
Esticamento, %	0,81	1,64	1,96	2,09	2,07
Espessura, $\mu$ m	159,60	119,56	107,44	102,56	100,00
Densidade aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,405	0,518	0,566	0,580	0,574
Volume específico aparente, cm <sup>3</sup> /g	2,469	1,930	1,766	1,724	1,742

\* Condições de cozimento: Álcali ativo, como Na<sub>2</sub>O = 14 %

Fator H = 900

% de Pinus = 100 %

Repetição = 3.<sup>a</sup>

## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	25	40	75	90
Grau de moagem, $^{\circ}$ SR	19,0	29,0	33,0	50,0	68,5
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	63,66	62,68	61,63	61,50	60,64
Auto-ruptura, km	3,42	6,87	7,79	9,36	7,87
Índice de arrebatamento	16,6	42,0	47,6	62,8	64,7
Índice de rasgo	81,1	127,2	121,9	135,8	116,6
Esticamento, %	0,71	1,66	1,89	2,27	2,75
Espessura, $\mu$	141,96	113,68	109,20	103,00	96,88
Densidade aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,448	0,551	0,564	0,596	0,626
Volume específico aparente, cm <sup>3</sup> /g	2,232	1,815	1,773	1,678	1,597

\* Condições de cozimento: Álcali ativo, como Na<sub>2</sub>O = 14 %

Fator H = 1100

% de Pinus = 0 %

Repartição = 1.<sup>a</sup>

## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	25	40	75	90
Grau de moagem, $^{\circ}$ SR	20,0	27,5	31,0	54,0	67,0
Gramatura, $g/m^2$	64,06	63,25	63,25	61,85	62,04
Auto-ruptura, km	3,74	6,77	6,32	8,42	7,77
Índice de arrebentamento	19,0	34,2	41,1	59,5	63,4
Índice de rasgo	62,4	164,9	153,8	130,8	124,8
Esticamento, %	0,81	1,60	1,49	2,47	2,72
Espessura, $\mu$	142,84	114,16	111,84	102,92	98,60
Densidade aparente, $g/cm^3$	0,445	0,554	0,565	0,601	0,629
Volume específico aparente, $cm^3/g$	2,247	1,805	1,770	1,664	1,590

\* Condições de cozimento: Álcali ativo, como  $Na_2O = 14 \%$

Fator H = 1100

% de Pinus = 0 %

Repetição = 2.

## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	25	40	75	90
Grau de moagem, $^{\circ}$ SR	18,0	26,0	29,0	49,0	67,0
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	66,05	66,02	65,06	64,36	63,79
Auto-ruptura, km	2,88	3,42	7,71	7,89	7,94
Índice de arrebentamento	14,7	36,6	43,4	59,7	61,3
Índice de rasgo	63,8	124,9	105,4	140,4	131,4
Esticamento, %	0,53	1,66	2,63	3,54	3,60
Espessura, $\mu$	150,84	122,23	116,80	107,48	98,60
Densidade aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,438	0,540	0,557	0,599	0,647
Volume específico aparente, cm <sup>3</sup> /g	2,283	1,852	1,795	1,669	1,545

\* Condições de cozimento: Álcali ativo, como Na<sub>2</sub>O = 14 %

Fator H = 1100

% de Pinus = 0 %

Repetição = 3.<sup>a</sup>

## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	30	60	90	120
Grau de moagem, °SR	15,0	19,0	27,0	36,0	70,0
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	64,43	63,64	62,66	62,36	60,19
Auto-ruptura, km	3,33	6,03	6,89	7,23	8,03
Índice de arrebatamento	16,0	33,4	41,7	44,6	53,8
Índice de rasgo	166,4	135,0	131,5	117,5	110,0
Esticamento, %	1,32	2,63	3,03	2,97	4,01
Espessura, $\mu$	139,30	111,70	105,72	101,56	93,08
Densidade aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,462	0,559	0,592	0,614	0,647
Volume específico aparente, cm <sup>3</sup> /g	2,164	1,787	1,689	1,630	1,546

\* Condições de cozimento: Alkali ativo, como Na<sub>2</sub>O = 14 %

Fator H = 1100

% de Pinus = 33,33 %

Repetição = 1.<sup>a</sup>

## Propriedades físico-mecânicas das coluloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	30	60	90	120
Grau de moagem, $^{\circ}$ SR	13,5	20,0	28,5	34,0	71,0
Gramatura, $g/m^2$	63,82	62,26	62,74	59,37	59,91
Auto-ruptura, km	3,10	3,07	6,78	6,74	7,98
Índice de arrebentamento	11,0	32,4	39,9	40,7	53,2
Índice de rasgo	123,6	155,2	129,0	127,6	119,6
Esticamento, %	1,44	2,98	3,47	3,23	3,94
Espessura, $\mu$	141,92	110,20	104,48	100,20	92,36
Densidade aparente, $g/cm^3$	0,449	0,565	0,600	0,592	0,645
Volume específico aparente, $cm^3/g$	2,227	1,770	1,667	1,689	1,541

\* Condições de cozimento: Alkali ativo, como  $Na_2O = 14\%$

Fator H = 1100

% de Pinus = 33,33 %

Repetição = 2<sup>a</sup>

## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	30	60	90	120
Grau de moagem, $^{\circ}$ SR	12,5	19,0	27,5	37,0	67,0
Gramatura, $g/m^2$	64,75	63,25	62,77	62,14	60,58
Auto-ruptura, km	2,84	5,77	5,96	6,32	7,74
Índice de arrebatamento	9,6	29,7	37,8	39,2	49,9
Índice de rasgo	136,9	137,1	133,6	126,2	113,0
Esticamento, %	1,30	2,80	3,19	3,24	3,85
Espessura, $\mu$	142,20	112,84	105,76	102,96	94,48
Densidade aparente, $g/cm^3$	0,455	0,560	0,588	0,603	0,641
Volume específico aparente, $cm^3/g$	2,198	1,780	1,701	1,658	1,560

\* Condições de cozimento: Álcali ativo, como  $Na_2O = 14\%$

Fator H = 1100

% de Pinus = 33,33 %

Repetição = 3.<sup>a</sup>

## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	35	70	105	140
Grau de moagem, $^{\circ}$ SF	13,0	16,0	22,0	44,0	66,5
Gramatura, $g/m^2$	61,25	50,51	61,91	59,84	59,33
Auto-ruptura, km	3,55	5,33	7,11	8,35	9,23
Índice de arrebatamento	21,2	39,3	52,8	62,9	63,5
Índice de rasgo	229,9	146,6	137,1	113,9	104,1
Esticamento, %	1,33	2,01	2,33	2,64	2,64
Espessura, $\mu$	140,04	106,36	102,24	94,24	89,04
Densidade aparente, $g/cm^3$	0,435	0,569	0,606	0,526	0,570
Volume específico aparente, $cm^3/g$	2,299	2,132	1,653	1,900	1,754

\* Condições de cozimento: Álcali ativo, como  $Na_2O = 14\%$

Fator H = 1100

% de Pinus = 66,66 %

Repetição = 1.<sup>a</sup>



## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	35	70	105	140
Grau de moagem, $^{\circ}$ SR	13,0	15,5	21,0	42,0	67,0
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	63,36	64,21	62,77	62,49	61,47
Auto-ruptura, km	3,72	0,00	6,76	8,36	7,70
Índice de arrebatamento	25,5	40,2	47,2	59,1	60,2
Índice de rasgo	207,1	141,4	126,6	119,0	106,2
Esticamento, %	1,50	2,24	2,32	2,56	2,51
Espessura, $\mu$	141,88	111,16	103,28	97,48	93,64
Densidade aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,461	0,577	0,608	0,641	0,656
Volume específico aparente, cm <sup>3</sup> /g	2,169	1,733	1,645	1,560	1,524

\* Condições de cozimento: Álcali ativo, como Na<sub>2</sub>O = 14 %

Fator H = 1100

% de Pinus = 66,66 %

Repetição = 2.<sup>a</sup>

## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	35	70	105	140
Grau de moagem, $^{\circ}$ SR	13,0	15,0	20,0	36,0	62,5
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	53,57	52,39	51,03	51,28	59,08
Auto-ruptura, km	3,73	5,03	7,67	8,63	8,77
Índice de arrebentamento	21,2	41,2	52,7	55,1	62,9
Índice de rasgo	206,4	142,6	134,5	120,6	107,6
Esticamento, %	1,35	1,91	2,50	2,52	2,67
Espessura, $\mu$	141,48	107,84	102,68	97,40	83,75
Densidade aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,449	0,578	0,600	0,629	0,713
Volume específico aparente, cm <sup>3</sup> /g	2,227	1,730	1,666	1,589	1,403

\* Condições de cozimento: Alkali ativo, como Na<sub>2</sub>O = 14 %

Fator H = 1100

% de Pinus = 66,66 %

Repetição = 3<sup>a</sup>

## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	40	80	120	200
Grau de moagem, $^{\circ}$ SR	11,5	11,5	13,0	18,0	68,5
Gramatura, $g/m^2$	63,95	61,98	60,52	59,97	58,35
Auto-ruptura, km	3,77	5,21	6,61	7,27	8,36
Índice de arrebatamento	23,1	41,8	48,5	53,9	59,3
Índice de rasgo	231,4	158,0	142,5	125,2	92,7
Esticamento, %	1,76	2,14	2,40	2,69	3,11
Espessura, $\mu$	146,96	112,52	106,25	100,20	92,04
Densidade aparente, $g/cm^3$	0,435	0,551	0,575	0,598	0,634
Volume específico aparente, $cm^3/g$	2,299	1,815	1,725	1,672	1,577

\* Condições de cozimento: Álcali ativo, como  $Na_2O = 14\%$

Fator H = 1100

% de Pinus = 100 %

Repetição = 1.<sup>a</sup>

## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	45	95	135	200
Grau de moagem, °SR	11,0	11,5	14,0	24,0	64,5
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	63,54	61,82	61,34	59,27	58,73
Auto-ruptura, km	3,90	5,76	6,99	7,36	7,67
Índice de arrebentamento	24,6	45,0	52,2	58,0	60,6
Índice de rasgo	236,2	151,8	133,6	110,4	98,6
Esticamento, %	1,69	2,08	2,42	2,63	2,91
Espessura, μ	142,00	112,84	103,60	100,24	92,60
Densidade aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,447	0,548	0,592	0,591	0,634
Volume específico aparente, cm <sup>3</sup> /g	2,237	1,825	1,689	1,692	1,577

\* Condições de cozimento: Álcali ativo, como Na<sub>2</sub>O = 14 %

Fator H = 1100

% de Pinus = 100 %

Repetição = 2<sup>ª</sup>

## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	50	100	150	200
Grau de moagem, °SR	11,5	12,0	15,0	28,5	63,5
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	63,06	61,79	60,77	59,88	58,86
Auto-ruptura, km	3,91	5,54	6,25	7,24	7,63
Índice de arrebatamento	22,9	40,1	50,4	53,9	58,4
Índice de rasgo	262,9	161,1	136,4	127,2	96,4
Esticamento, %	1,63	2,10	2,48	2,52	2,87
Espessura, μ	146,24	110,88	104,16	97,44	91,68
Densidade aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,431	0,557	0,583	0,614	0,642
Volume específico aparente, cm <sup>3</sup> /g	2,320	1,795	1,715	1,628	1,557

\* Condições de cozimento: Álcali ativo, como Na<sub>2</sub>O = 14 %

Fator H = 1100

% de Pinus = 100 %

Repetição = 3<sup>a</sup>

## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	25	50	75	100
Grau de moagem, $^{\circ}$ SR	15,0	22,0	37,5	46,0	80,0
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	63,57	63,41	62,96	62,20	61,31
Auto-ruptura, km	3,16	6,06	7,05	8,56	8,90
Índice de arrebentamento	13,1	40,6	56,8	62,2	73,6
Índice de rasgo	41,8	111,5	112,3	100,1	89,8
Esticamento, %	0,81	2,85	3,80	3,62	4,91
Espessura, $\mu$	142,60	115,16	104,24	101,24	90,24
Densidade aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,446	0,551	0,602	0,612	0,679
Volume específico aparente, cm <sup>3</sup> /g	2,242	1,815	1,661	1,634	1,473

\* Condições de cozimento: Álcali ativo, como Na<sub>2</sub>O = 16 %

Fator H = 900

% de Pinus = 0 %

Repetição = 1.<sup>a</sup>

## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	25	40	75	90
Grau de moagem, $^{\circ}$ SR	15,0	22,0	28,0	43,0	67,0
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	57,17	64,36	62,77	62,26	61,53
Auto-ruptura, km	3,04	5,68	7,02	8,12	6,62
Índice de arrebentamento	14,3	37,3	51,6	58,9	72,6
Índice de rasgo	59,4	95,5	95,8	106,4	96,2
Esticamento, %	0,99	2,59	3,30	3,45	4,45
Espessura, $\mu$	142,28	116,16	110,00	102,48	94,32
Densidade aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,402	0,554	0,571	0,607	0,652
Volume específico aparente, cm <sup>3</sup> /g	2,487	1,805	1,751	1,647	1,534

\* Condições de cozimento: Álcali ativo, como Na<sub>2</sub>O = 16 %

Fator H = 900

% de Pinus = 0 %

Repetição = 2<sup>a</sup>

## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	25	40	75	90
Grau de moagem, $^{\circ}$ SR	15,0	22,0	27,5	43,5	68,0
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	64,30	63,85	62,36	62,20	61,31
Auto-ruptura, km	3,50	6,16	7,55	7,42	8,67
Índice de arrebatamento	16,1	41,5	47,0	58,9	73,1
Índice de rasgo	48,0	105,5	108,1	99,5	95,5
Esticamento, %	1,08	2,17	3,35	3,73	4,47
Espessura, $\mu$	142,60	116,40	109,76	103,96	94,68
Densidade aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,451	0,548	0,568	0,598	0,647
Volume específico aparente, cm <sup>3</sup> /g	2,217	1,825	1,760	1,672	1,545

\* Condições de cozimento: Alkali ativo, como Na<sub>2</sub>O = 16 %

Fator H = 900

% de Pinus = 0 %

Repetição = 3.<sup>a</sup>



## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	30	60	90	120
Grau de moagem, °SR	14,0	19,0	27,5	39,0	64,5
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	64,21	62,74	62,04	62,07	60,39
Auto-ruptura, km	3,62	6,31	7,54	7,41	7,31
Índice de arrebatamento	19,3	41,0	50,0	56,3	66,4
Índice de rasgo	120,6	129,8	122,8	122,7	92,4
Esticamento, %	1,15	2,51	2,88	2,90	3,55
Espessura, $\mu$	144,84	111,92	105,84	102,68	94,72
Densidade aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,443	0,561	0,586	0,605	0,637
Volume específico aparente, cm <sup>3</sup> /g	2,257	1,783	1,706	1,653	1,570


\* Condições de cozimento: Álcali ativo, como Na<sub>2</sub>O = 16 %

Fator H = 900

% de Pinus = 33,33 %

Repetição = 1.<sup>a</sup>

## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	30	60	90	120
Grau de moagem, °SR	15,5	18,5	25,0	34,0	61,0
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	64,14	64,08	62,87	62,07	60,19
Auto-ruptura, km	3,83	6,22	6,34	6,55	7,68
Índice de arrebatamento	21,0	37,0	45,5	52,2	65,4
Índice de rasgo	150,7	167,3	132,8	122,4	93,5
Esticamento, %	1,50	2,38	2,86	2,64	3,26
Espessura, 	141,72	116,04	109,92	104,88	94,48
Densidade aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,453	0,552	0,572	0,592	0,637
Volume específico aparente, cm <sup>3</sup> /g	2,207	1,812	1,748	1,689	1,570

\* Condições de cozimento: Álcali ativo, como Na<sub>2</sub>O = 16 %

Fator H = 900

% de Pinus = 33,33 %

Repetição: 2.<sup>a</sup>

## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	30	70	90	130
Grau de moagem, °GR	14,0	19,0	28,5	32,0	64,5
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	64,08	62,93	61,50	61,24	60,80
Auto-ruptura, km	2,92	6,10	6,87	7,76	8,65
Índice de arrebentamento	15,9	40,1	53,2	51,5	68,0
Índice de rasgo	109,4	138,4	122,5	114,4	105,0
Esticamento, %	1,03	2,23	2,69	2,72	3,36
Espessura, $\mu$	146,00	113,12	105,32	102,36	95,40
Densidade aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,436	0,556	0,584	0,598	0,637
Volume específico aparente, cm <sup>3</sup> /g	2,293	1,798	1,712	1,572	1,570

\* Condições de cozimento: Álcali ativo, como Na<sub>2</sub>O = 16 %

Fator H = 900

% de Pinus = 33,33 %

Repetição = 3.<sup>a</sup>

## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	35	80	105	150
Grau de moagem, $^{\circ}$ SR	13,0	14,0	22,0	31,0	64,5
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	63,76	62,84	61,79	61,69	60,48
Auto-ruptura, km	3,72	5,96	6,15	8,00	7,35
Índice de arrebatamento	22,6	41,3	48,6	56,0	53,9
Índice de rasgo	160,9	142,1	116,1	106,9	98,5
Esticamento, %	1,37	1,52	2,03	2,33	2,35
Espessura, $\mu$	147,92	113,40	105,96	101,80	97,20
Densidade aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,431	0,554	0,583	0,606	0,622
Volume específico aparente, cm <sup>3</sup> /g	2,320	1,805	1,715	1,650	1,608


\* Condições de cozimento: Álcali ativo, como Na<sub>2</sub>O = 16 %

Fator H = 900

% de Pinus = 66,66 %

Repetição = 1.<sup>a</sup>

## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	35	80	105	150
Grau de moagem, °SR	12,0	15,0	21,0	30,0	63,5
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	64,05	62,71	61,94	60,64	60,19
Auto-ruptura, km	3,30	6,32	6,62	7,41	7,25
Índice de arrebatamento	23,3	38,3	46,4	50,5	59,1
Índice de rasgo	160,4	148,0	124,5	110,3	94,3
Esticamento, %	1,23	2,00	2,35	2,44	2,66
Espessura, 	146,80	113,76	106,40	101,80	96,68
Densidade aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,436	0,551	0,582	0,596	0,623
Volume específico aparente, cm <sup>3</sup> /g	2,294	1,815	1,718	1,678	1,605


\* Condições de cozimento: Alkali ativo, como Na<sub>2</sub>O = 15 %

Fator H = 900

% de Pinus = 66,66 %

Repetição = 2.<sup>a</sup>

## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	35	80	105	150
Grau de moagem, $^{\circ}$ SR	13,0	14,0	20,0	29,5	62,5
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	64,36	63,19	62,04	61,02	60,73
Auto-ruptura, km	3,29	5,20	5,90	6,59	6,69
Índice de arrebatamento	16,6	32,7	37,6	42,3	48,5
Índice de rasgo	186,4	153,4	128,2	116,4	97,0
Esticamento, %	1,38	2,05	2,34	2,43	2,46
Espessura, 	150,04	116,28	107,56	103,88	96,80
Densidade aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,429	0,543	0,577	0,587	0,627
Volume específico aparente, cm <sup>3</sup> /g	2,331	1,841	1,733	1,704	1,595

\* Condições de cozimento: Álcali ativo, como Na<sub>2</sub>O = 16 %

Fator H = 900

% de Pinus = 66,66 %

Repetição = 3.<sup>el</sup>

## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	40	80	120	200
Grau de moagem, °SR	12,0	12,0	14,0	24,0	81,0
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	64,87	63,70	62,50	60,19	58,90
Auto-ruptura, km	3,90	6,13	6,50	6,67	7,25
Índice de arrebatamento	19,4	37,8	41,2	44,0	52,3
Índice de rasgo	253,0	163,0	138,5	114,5	75,8
Esticamento, %	1,63	2,36	2,51	2,65	2,63
Espessura, <del>mm</del>	149,60	122,32	116,75	100,92	98,24
Densidade aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,433	0,521	0,540	0,553	0,599
Volume específico aparente, cm <sup>3</sup> /g	2,309	1,919	1,863	1,808	1,669

\* Condições de cozimento: Álcali ativo, como Na<sub>2</sub>O = 16 %

Fator H = 500

% de Pinus = 100 %

Repetição = 1.<sup>ª</sup>

## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	40	65	125	170
Grau de moagem, $^{\circ}$ SR	11,0	11,0	15,0	30,0	67,5
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	65,23	63,09	61,59	57,77	58,32
Auto-ruptura, km	3,90	5,54	6,97	7,69	8,04
Índice de arrebentamento	22,7	43,4	49,0	54,4	56,1
Índice de rasgo	240,1	150,1	144,8	120,2	87,8
Esticamento, %	1,86	2,48	2,60	2,53	2,95
Espessura, $\mu$	139,92	112,68	106,84	98,04	91,92
Densidade aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,466	0,560	0,582	0,589	0,634
Volume específico aparente, cm <sup>3</sup> /g	2,146	1,786	1,718	1,698	1,577

\* Condições de cozimento: Álcali ativo, como Na<sub>2</sub>O = 15 %

Fator H = 900

% de Pinus = 100 %

Repetição = 2.<sup>a</sup>



## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	40	90	120	170
Grau de moagem, °SR	11,0	11,0	15,0	20,5	21,5
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	64,59	52,77	61,12	60,00	52,76
Auto-ruptura, km	4,01	5,53	6,54	6,29	7,16
Índice de arrebatamento	22,4	35,4	51,6	45,4	58,0
Índice de rasgo	235,8	151,9	133,0	116,8	105,1
Esticamento, %	1,90	2,10	2,58	2,52	2,77
Espessura, μ	147,48	114,20	104,92	103,96	90,32
Densidade aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,438	0,550	0,583	0,577	0,650
Volume específico aparente, cm <sup>3</sup> /g	2,283	1,818	1,715	1,733	1,538

\* Condições de cozimento: Alkali ativo, como Na<sub>2</sub>O = 16 %

Fator H = 900

% de Pinus = 100 %

Repetição = 3.<sup>a</sup>

## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	25	45	75	95
Grau de moagem, °SR	17,0	23,0	35,0	46,0	77,5
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	63,92	64,21	62,39	62,29	61,47
Auto-ruptura, km	4,00	6,83	6,14	7,86	10,24
Índice de arrebentamento	14,9	37,9	47,8	52,6	61,6
Índice de rasgo	49,8	101,7	92,5	113,0	93,1
Esticamento, %	0,98	2,44	3,41	3,29	4,30
Espessura, μ	139,00	112,44	103,64	98,58	38,00
Densidade aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,460	0,571	0,602	0,631	0,698
Volume específico aparente, cm <sup>3</sup> /g	2,174	1,751	1,661	1,585	1,433


\* Condições de cozimento: Álcali ativo, como Na<sub>2</sub>O = 16 %

Fator H = 1100

% de Pinus = 0 %

Repetição = 1.<sup>a</sup>

## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	25	40	75	90
Grau de moagem, °SR	16,0	22,0	28,0	45,0	63,0
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	63,57	63,15	62,80	61,98	61,85
Auto-ruptura, km	3,53	6,84	6,77	7,64	8,44
Índice de arrebentamento	11,6	32,9	40,6	49,9	53,2
Índice de rasgo	53,6	122,1	119,7	103,8	101,6
Esticamento, %	0,75	2,56	3,03	3,13	3,72
Espessura, 	140,52	114,12	108,48	100,88	95,48
Densidade aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,452	0,553	0,579	0,614	0,648
Volume específico aparente, cm <sup>3</sup> /g	2,212	1,800	1,727	1,629	1,543


\* Condições de cozimento: Álcali ativo, como Na<sub>2</sub>O = 16 %

Fator H = 1100

% de Pinus = 0 %

Repetição = 2.<sup>a</sup>

## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	25	40	75	90
Grau de moagem, °SR	16,0	22,0	29,5	44,0	71,5
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	64,46	63,60	63,28	62,52	61,72
Auto-ruptura, km	3,59	6,35	7,50	7,28	8,12
Índice de arrebatamento	11,8	35,2	42,4	49,4	59,0
Índice de rasgo	49,9	100,6	109,5	95,9	101,4
Esticamento, %	0,79	2,55	2,95	3,16	4,48
Espessura, 	151,48	123,16	115,60	110,56	101,40
Densidade aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,425	0,516	0,547	0,565	0,609
Volume específico aparente, cm <sup>3</sup> /g	2,353	1,938	1,828	1,770	1,642


\* Condições de cozimento: Álcali ativo, como Na<sub>2</sub>O = 16 %

Fator H = 1100

% de Pinus = 0 %

Repetição = 3.<sup>a</sup>

## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	30	60	90	120
Grau de moagem, $^{\circ}$ SR	15,5	19,5	29,0	38,0	69,5
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	63,98	62,90	62,68	61,91	61,60
Auto-ruptura, km	4,25	6,74	7,61	7,78	7,78
Índice de arrebentamento	15,6	31,0	42,7	45,4	61,2
Índice de rasgo	137,8	129,7	120,8	121,2	102,6
Esticamento, %	1,18	2,08	2,53	2,54	2,95
Espessura, 	150,16	119,76	114,16	113,96	102,44
Densidade aparente, g/cm <sup>3</sup>	1,426	0,525	0,549	0,543	0,601
Volume específico aparente, cm <sup>3</sup> /g	2,347	1,905	1,821	1,842	1,664

\* Condições de cozimento: Álcali ativo, como Na<sub>2</sub>O = 16 %

Fator H = 1100

% de Pinus = 33,33 %

Repetição = 1.

## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem	0	30	60	90	120
Grau de moagem, $^{\circ}$ SR	15,0	19,5	26,0	38,0	64,0
Gramatura, $g/m^2$	63,79	63,22	62,14	62,33	61,31
Auto-ruptura, km	3,85	3,57	7,27	7,01	7,97
Índice de arrebentamento	15,0	32,0	43,2	46,6	63,1
Índice de rasgo	133,9	123,8	137,1	113,6	99,6
Esticamento, %	1,17	2,19	2,73	2,49	3,26
Espessura, $\mu$	152,44	121,72	115,08	111,08	104,12
Densidade aparente, $g/cm^3$	0,418	0,519	0,540	0,561	0,589
Volume específico aparente, $cm^3/g$	2,392	1,927	1,852	1,782	1,696


\* Condições de cozimento: Alkali ativo, como  $Na_2O = 16\%$

Fator H = 1100

% de Pinus = 33,33 %

Repetição = 2.<sup>a</sup>

## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	30	60	90	120
Grau de moagem, °SR	14,0	19,0	29,0	39,5	66,5
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	64,65	63,41	61,59	61,85	61,34
Auto-ruptura, km	3,45	6,14	7,08	7,36	8,19
Índice de arrebentamento	12,7	32,2	42,5	44,4	54,3
Índice de rasgo	133,2	138,6	120,2	113,0	105,6
Esticamento, %	1,28	2,18	2,65	2,63	3,42
Espessura, 	153,44	120,68	113,40	111,40	103,88
Densidade aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,421	0,525	0,543	0,555	0,590
Volume específico aparente, cm <sup>3</sup> /g	2,375	1,905	1,841	1,802	1,695

\* Condições de cozimento: Álcali ativo, como Na<sub>2</sub>O = 16 %

Fator H = 1100

% de Pinus = 33,33 %

Repetição = 3.<sup>a</sup>

## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	35	60	105	130
Grau de moagem, °SR	15,5	10,0	26,0	54,0	80,5
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	63,98	63,98	62,65	61,53	61,63
Auto-ruptura, km	4,11	5,95	6,93	6,96	8,01
Índice de arrebentamento	22,0	37,0	43,1	49,1	54,5
Índice de rasgo	212,1	122,5	126,0	105,4	85,4
Esticamento, %	1,32	2,10	2,39	2,25	2,83
Espessura, μm	142,88	114,56	104,60	104,56	99,0
Densidade aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,448	0,558	0,559	0,588	0,622
Volume específico aparente, cm <sup>3</sup> /g	2,232	1,792	1,669	1,700	1,608

\* Condições de cozimento: Álcali ativo, como Na<sub>2</sub>O = 16 %

Fator H = 1100

% de Pinus = 66,66 %

Repetição = 1.<sup>a</sup>



## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	30	60	90	120
Grau de moagem, °SR	14,5	17,0	24,5	37,0	71,5
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	64,36	63,60	61,95	62,74	60,39
Auto-ruptura, km	4,45	5,77	6,36	7,42	7,44
Índice de arrebentamento	22,1	34,6	40,1	44,5	43,9
Índice de rasgo	182,5	129,0	123,0	107,4	108,4
Esticamento, %	1,73	2,07	2,21	2,51	2,32
Espessura, μ	145,12	117,08	109,60	107,76	103,20
Densidade aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,443	0,543	0,565	0,582	0,585
Volume específico aparente, cm <sup>3</sup> /g	2,257	1,842	1,770	1,718	1,709


\* Condições de cozimento: Álcali ativo, como Na<sub>2</sub>O = 16 %

Fator H = 1100

% de Pinus = 66,66 %

Repetição = 2.<sup>a</sup>

## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	30	60	90	120
Grau de moagem, °SR	14,0	16,0	21,0	33,0	65,0
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	64,64	63,23	62,99	62,17	61,09
Auto-ruptura, km	3,64	5,58	6,79	6,65	7,61
Índice de arrebatamento	14,6	34,0	47,5	44,5	48,3
Índice de rasgo	191,5	150,7	124,4	118,9	104,8
Esticamento, %	1,67	2,39	2,66	2,66	3,06
Espessura, 	139,32	114,0	108,64	101,28	95,48
Densidade aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,465	0,555	0,580	0,614	0,640
Volume específico aparente, cm <sup>3</sup> /g	2,150	1,802	1,724	1,629	1,562


\* Condições de cozimento: Álcali ativo, como Na<sub>2</sub>O = 16 %

Fator H = 1100

% de Pinus = 63,66 %

Repetição = 3.<sup>a</sup>

## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	40	80	120
Grau de moagem, °SR	12,5	14,0	20,5	64,0
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	65,45	63,89	61,53	60,83
Auto-ruptura, km	4,50	7,18	7,64	7,24
Índice de arrebentamento	26,8	51,0	53,9	54,3
Índice de rasgo	243,5	134,2	112,8	98,4
Esticamento, %	2,17	3,10	2,93	2,59
Espessura, 	130,08	101,80	95,0	88,72
Densidade aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,503	0,528	0,546	0,586
Volume específico aparente, cm <sup>3</sup> /g	1,968	1,592	1,543	1,458


\* Condições de cozimento: Alkali ativo, como Na<sub>2</sub>O = 15 %

Fator H = 1100

% de Pinus = 100 %

Repetição = 1.<sup>a</sup>

## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	30	60	90	120
Grau de moagem, °SR	11,5	12,5	16,0	33,5	69,5
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	64,84	63,18	62,17	61,24	59,84
Auto-ruptura, km	3,72	5,97	7,07	7,54	8,20
Índice de arrebatamento	22,0	46,3	52,1	56,1	58,0
Índice de rasgo	266,0	181,3	142,1	122,6	98,9
Esticamento, %	1,93	2,74	3,24	4,04	3,83
Espessura, 	135,60	104,24	97,0	93,76	88,48
Densidade aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,478	0,606	0,628	0,653	0,676
Volume específico aparente, cm <sup>3</sup> /g	2,092	1,650	1,592	1,531	1,479

\* Condições de cozimento: Alkali ativo, como Na<sub>2</sub>O = 16 %

Fator H = 1100

% de Pinus = 100 %

Repetição = 2<sup>a</sup>

## Propriedades físico-mecânicas das celuloses kraft não-branqueadas\*

Tempo de moagem, min.	0	30	60	90	120
Grau de moagem, °SR	12,0	12,5	17,0	29,0	66,5
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	64,36	57,80	63,54	62,04	60,45
Auto-ruptura, km	4,19	6,69	7,09	7,89	7,72
Índice de arrebentamento	20,0	47,0	55,3	53,0	60,4
Índice de rasgo	263,5	177,8	151,1	122,8	118,4
Esticamento, %	2,73	3,25	3,61	4,09	3,83
Espessura, μ	131,6	106,24	99,51	94,56	89,16
Densidade aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,439	0,544	0,630	0,653	0,678
Volume específico aparente, cm <sup>3</sup> /g	2,046	1,838	1,597	1,531	1,475

\* Condições de cozimento: Alcali ativo, como Na<sub>2</sub>O = 16 %

Fator H = 1100

% de Pinus = 100 %

Repetição = 3.<sup>a</sup>