

MISTURA DE CELULOSES DE **Eucalyptus saligna** E **Pinus caribaea**  
VAR. **caribaea**

Celso Edmundo Bochetti Foelkel\*  
Luiz Ernesto George Barrichelo\*

**SUMMARY**

In the paper industry today there is a pronounced trend towards more and more blending of different types of pulp. There is a great interest in blending long and short fibered pulps. In this work, a softwood (**Pinus caribaea** var. **caribaea**) and a hardwood (**Eucalyptus saligna**) kraft pulps were mixed after beating. Some of the properties of the blended pulp sheets improved, such as tear strength, while other decreased—burst and tensile strengths.

Blending of fibers with different characteristics seems to offer great possibilities of producing tailor-made papers, according to their requirements. This applies not only to softwood-hardwood blends, but also to blends of pulps from the same origin, but differently processed.

**1. INTRODUÇÃO**

A utilização de misturas de dois ou mais tipos de celuloses é uma prática mundialmente conhecida, constituindo-se numa tentativa de melhorar a qualidade de uma celulose inferior, de se aproveitarem os excedentes de matérias primas fibrosas ou de baratear o custo do produto final. O mais comum é se tentar melhorar as propriedades de celulose de baixa resistência, como as obtidas a partir de resíduos de cereais (palhas), bagaço de cana, etc. Existe principalmente um grande interesse em se misturar celuloses de fibras longas e curtas.

O presente trabalho faz parte de uma série de pesquisas afins onde são realizados estudos sobre misturas de celulose obtidas a partir de matérias primas nacionais. Especificamente neste experimento, foram estudadas as variações das propriedades físico-mecânicas de misturas de celuloses sulfato de **Eucalyptus saligna** e **Pinus caribaea** var. **caribaea**.

**2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Misturas de celuloses de coníferas e folhosas para produção de diferentes tipos de papel são bastante comuns. Existem algumas opiniões na literatura segundo as quais substituição de 10 a 20% de fibras curtas em pastas de fibras longas, não introduz nenhuma alteração substancial na qualidade do papel (BLOMQVIST, 1962). Entretanto, cuidados especiais devem ser tomados quando da produção de papéis tipo "Kraft" de alta resistência, a partir de misturas de celulose de fibras longas e curtas. Sugerem-se neste caso, estudos especiais de como, quando, onde e quanto misturar para otimizar a operação. Ressalta-se

---

\* Departamento de Silvicultura - ESALQ-USP

que o grau de moagem de cada um dos componentes de uma mistura conífera-folhosa é um fator de extrema importância. Os resultados podem-se mostrar totalmente diversos conforme o grau a que cada celulose é refinada. (ARLOV, 1962).

Relativamente a trabalhos realizados no Brasil acerca de misturas de celulose de coníferas e folhosas, poucos podem ser encontrados. Neste sentido, ASSIS et alii, 1968, apresentaram interessante trabalho abordando a possibilidade de se realizarem cozimentos sulfato de **Araucaria angustifolia** e bracinga, simultaneamente. Os autores concluíram que a qualidade do papel decrescia conforme aumentava a porcentagem de bracinga na mistura.

FOELKEL & BARRICHELO e BARRICHELO & FOELKEL, 1974 estudaram as variações nas propriedades físico-mecânicas de misturas de celuloses sulfato de **Araucaria angustifolia** e **Eucalyptus saligna** e de **Eucalyptus saligna** com **Pinus caribaea** var. **hondurensis**, respectivamente. No primeiro caso, a substituição parcial da celulose de **Araucaria** por até 30% de celulose de eucalipto melhorou as resistências à tração e ao arrebentamento e diminuiu a resistência ao rasgo. No segundo caso, a substituição parcial de celulose de **Eucalyptus saligna** por até 30% de celulose de **Pinus caribaea** var. **hondurensis** não afetou significativamente as resistências à tração, ao arrebentamento e ao rasgo.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

Os materiais utilizados neste experimento constituíam-se de celuloses sulfato obtidas de madeiras de **Eucalyptus saligna** (5 anos) e **Pinus caribaea** var. **caribaea** (8 anos) conforme as condições apresentadas no Quadro I.

**Quadro I:** *Condições de Cozimento*

Condições de cozimento	ESPÉCIE	
	E. saligna	P. caribaea
- Alkali ativo	13%	16%
- Atividade	88%	88%
- Sulfidez	25%	25%
- Relação licor/madeira	4:1	4:1
- Temperatura máxima	165°C	165°C
- Tempo até temperatura máxima	2 hrs	2 hrs
- Tempo à temperatura máxima	0,5 hr	1 hr

As celuloses obtidas, após lavagem e depuração, mostravam as características apresentadas no Quadro II. Foram também incluídos neste quadro os graus de moagem apresentados pelas celuloses após refinação.

**Quadro II:** *Características das celuloses*

Características das celuloses	ESPÉCIE	
	E. saligna	P. caribaea
- Comprimento da fibra (mm)	0,97	2,93
- Largura da fibra ( $\mu$ )	14,8	43,1
- Espessura da parede celular ( $\mu$ )	3,6	5,4
- Números de permanganato	15,0	30,0
- Grau de moagem ( $^{\circ}$ SR)	23	25

## 3.2. Métodos

### 3.2.1. Refinação das celuloses

As celuloses foram refinadas separadamente em moinho Jokro, visando o desenvolvimento das propriedades físico-mecânicas. A consistência de refinação foi 5% para a celulose de **Pinus caribaea** e 6% para a de **Eucalyptus saligna**. Os graus de moagem obtidos, médias de 5 repetições, estão relatados no Quadro II. Após moagem, as celuloses foram prensadas até uma consistência de aproximadamente 15% e armazenadas em câmara fria até o preparo das folhas para testes.

### 3.2.2. Preparo das folhas para testes

Com a finalidade de estudar as variações nas propriedades das misturas de celulose, foram adotados os seguintes tratamentos:

- T1: 100% de celulose de **E. saligna**.
- T2: 80% de celulose de **E. saligna** e 20% de celulose de **P. caribaea**.
- T3: 60% de celulose de **E. saligna** e 40% de celulose de **P. caribaea**.
- T4: 40% de celulose de **E. saligna** e 60% de celulose de **P. caribaea**.
- TG: 20% de celulose de **E. saligna** e 80% de celulose de **P. caribaea**.
- T6: 100% de celulose de **P. caribaea**.

Conhecidas as exatas consistências de cada uma das amostras de celulose, procedeu-se à preparação de folhas de aproximadamente 60 g/m<sup>2</sup> nas proporções adotadas. Utilizou-se para tal formador de folhas e secadores tipo Koethen Rapid. Foram realizadas quatro repetições por tratamento, sendo que o experimento seguiu um esquema inteiramente casualizado.

### 3.2.3. Ensaio físico-mecânico

Para evitar o efeito de variações ambientais nos resultados, os corpos de prova foram acondicionados em ambiente padronizado à temperatura de 20°C ± 2°C e umidade relativa de 65% ± 2%.

A seguir, determinaram-se:

- gramatura: expressa em gramas por metro quadrado.
- resistência à tração: expressa pelo comprimento de auto-ruptura, em metros.
- resistência ao arrebentamento: expressa pelo índice de arrebentamento.
- resistência ao rasgo: expressa pelo índice de rasgo.
- resistência ao dobramento: expressa pelo número de dobras duplas.
- espessura: expressa em milímetros.
- peso específico aparente: expresso em gramas por centímetros cúbicos.

## 4. RESULTADOS

Os valores encontrados para as resistências à tração, ao arrebentamento, ao rasgo e ao dobramento e para espessura e peso específico aparente estão apresentados nos Quadros

III, V, VII, IX, XI e XIII respectivamente. Para se verificar o efeito dos tratamentos em cada uma destas propriedades, utilizou-se de análise estatística, através do teste F. As significâncias dos contrastes entre pares de médias de tratamentos, testadas pelo teste de Tukey constam dos Quadros IV, VI, VIII, X, XII e XIV.

**Quadro III: Resistência à tração**

Tratamento	Repetição				Média
	1	2	3	4	
T <sub>1</sub>	6383	6184	6373	6191	6283
T <sub>2</sub>	6883	6593	5924	5647	6262
T <sub>3</sub>	5719	5384	5209	5289	5400
T <sub>4</sub>	5819	6231	5951	5906	5977
T <sub>5</sub>	6221	6476	6154	6847	6424
T <sub>6</sub>	8046	7927	7780	7523	7819

F = 26,96\*\*

Diferença mínima significativa (5%) = 2193

Diferença mínima significativa (1%) = 2736

Coefficiente de variação = 5,6%

**Quadro IV: Significância dos contrastes entre pares de médias (Resistência à tração)**

Tratamento	Médias	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>
T <sub>1</sub>	6283	-					
T <sub>2</sub>	6262	21	-				
T <sub>3</sub>	5400	883	862	-			
T <sub>4</sub>	5977	306	185	577	-		
T <sub>5</sub>	6424	141	162	1024	447	-	
T <sub>6</sub>	7819	1536	1557	2419*	1842	1395	

**Quadro V: Resistência ao arrebentamento**

Tratamento	Repetição				Média
	1	2	3	4	
T <sub>1</sub>	42,3	43,0	41,7	41,7	42,2
T <sub>2</sub>	43,6	42,7	39,5	39,6	41,4
T <sub>3</sub>	38,3	39,0	36,8	36,3	37,6
T <sub>4</sub>	45,8	43,7	43,4	44,4	44,3
T <sub>5</sub>	48,3	46,2	46,8	49,3	47,6
T <sub>6</sub>	64,6	62,8	60,9	59,1	61,8

F = 114,45\*\*

Diferença mínima significativa (5%) = 3,6

Diferença mínima significativa (1%) = 4,4

Coefficiente de variação = 4,5%

**Quadro VI: Significância dos contrastes entre pares de médias (Resistência ao arrebentamento)**

Tratamento	Médias	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>
T <sub>1</sub>	42,2	-					
T <sub>2</sub>	41,4	0,8	-				
T <sub>3</sub>	37,6	4,6**	3,8*	-			
T <sub>4</sub>	44,3	2,1	2,9	6,7**	-		
T <sub>5</sub>	47,6	5,4**	6,2**	10,0**	3,3	-	
T <sub>6</sub>	61,8	19,6**	20,4**	24,2**	17,5**	14,2**	-

**Quadro VII: Resistência ao rasgo**

Tratamento	Repetição				Média
	1	2	3	4	
T <sub>1</sub>	129	120	119	117	121
T <sub>2</sub>	127	129	136	151	136
T <sub>3</sub>	157	150	143	151	150
T <sub>4</sub>	152	158	151	157	155
T <sub>5</sub>	164	166	148	149	157
T <sub>6</sub>	123	136	131	137	132

F = 15,02\*\*

Diferença mínima significativa (5%) = 17

Diferença mínima significativa (1%) = 21

Coefficiente de variação = 5,2%

**Quadro VIII: Significância dos contrastes entre pares de médias (Resistência ao rasgo)**

Tratamento	Médias	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>
T <sub>1</sub>	121	-					
T <sub>2</sub>	136	15	-				
T <sub>3</sub>	150	29**	14	-			
T <sub>4</sub>	155	34**	19*	5	-		
T <sub>5</sub>	157	36**	21**	7	2	-	
T <sub>6</sub>	132	11	4	18*	23**	25**	-

**Quadro IX: Resistência ao dobramento**

Tratamento	Repetição				Média
	1	2	3	4	
T <sub>1</sub>	102	86	97	77	91
T <sub>2</sub>	333	243	139	136	213
T <sub>3</sub>	345	253	185	236	255
T <sub>4</sub>	1028	1236	1079	945	1072
T <sub>5</sub>	1730	1301	1542	1546	1530
T <sub>6</sub>	5324	2775	3040	2638	3444

F = 23,75\*\*

Diferença mínima significativa (5%) = 1180

Diferença mínima significativa (1%) = 1473

Coefficiente de variação = 45,9%

**Quadro X: Significância dos contrastes entre pares de médias (Resistência ao dobramento)**

Tratamento	Médias	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>
T <sub>1</sub>	91	-					
T <sub>2</sub>	213	122	-				
T <sub>3</sub>	255	164	42	-			
T <sub>4</sub>	1072	981	859	817	-		
T <sub>5</sub>	1530	1439*	1317*	1275*	458	-	
T <sub>6</sub>	3444	3353**	3231**	3189**	2372**	1914**	-

**Quadro XI: Espessura**

Tratamento	Repetição				Média
	1	2	3	4	
T <sub>1</sub>	0,114	0,114	0,116	0,116	0,115
T <sub>2</sub>	0,111	0,110	0,109	0,110	0,110
T <sub>3</sub>	0,109	0,106	0,106	0,108	0,107
T <sub>4</sub>	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
T <sub>5</sub>	0,098	0,097	0,095	0,096	0,097
T <sub>6</sub>	0,092	0,091	0,092	0,092	0,092

F = 310,0\*\*

Diferença mínima significativa (5%) = 0,002

Diferença mínima significativa (1%) = 0,003

Coeficiente de variação = 1,2%

**Quadro XII: Significância dos contrastes entre pares de médias (Espessura)**

Tratamento	Médias	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>
T <sub>1</sub>	0,115	-					
T <sub>2</sub>	0,110	.005**	-				
T <sub>3</sub>	0,107	.008**	.003**	-			
T <sub>4</sub>	0,100	.015**	.010**	.007**	-		
T <sub>5</sub>	0,097	.018**	.013**	.010**	.003**	-	
T <sub>6</sub>	0,092	.023**	.018**	.015**	.008**	.005**	-

**Quadro XIII: Peso específico aparente**

Tratamento	Repetição				Média
	1	2	3	4	
T <sub>1</sub>	0,556	0,557	0,547	0,556	0,554
T <sub>2</sub>	0,583	0,579	0,576	0,576	0,578
T <sub>3</sub>	0,594	0,598	0,592	0,592	0,594
T <sub>4</sub>	0,629	0,643	0,624	0,631	0,632
T <sub>5</sub>	0,642	0,649	0,656	0,655	0,650
T <sub>6</sub>	0,667	0,680	0,671	0,677	0,674

F = 279,40\*\*

Diferença mínima significativa (5%) = 0,012

Diferença mínima significativa (1%) = 0,015

Coeficiente de variação = 5,6%

**Quadro XIV: Significância dos contrastes entre pares de médias (Peso específico aparente)**

Tratamento	Médias	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>
T <sub>1</sub>	0,554	-					
T <sub>2</sub>	0,578	.024*	-				
T <sub>3</sub>	0,594	.040**	.016**	-			
T <sub>4</sub>	0,632	.078**	.054**	.038**	-		
T <sub>5</sub>	0,650	.096**	.072**	.056**	.018**	-	
T <sub>6</sub>	0,674	.120**	.096**	.080**	.042**	.02488	-

A seguir, mediante o auxílio de um computador eletrônico IBM-1130, foram testadas equações de regressão relacionando cada propriedade em questão (Y) com a porcentagem de celulose de **Pinus caribaea** na mistura (X). Obtiveram-se equações que representavam perfeitamente a variabilidade dos dados para as seguintes propriedades:

resistências à tração, ao arrebentamento e ao rasgo e espessura das folhas. As equações em questão, bem como a representação gráfica das curvas estão apresentadas a seguir:

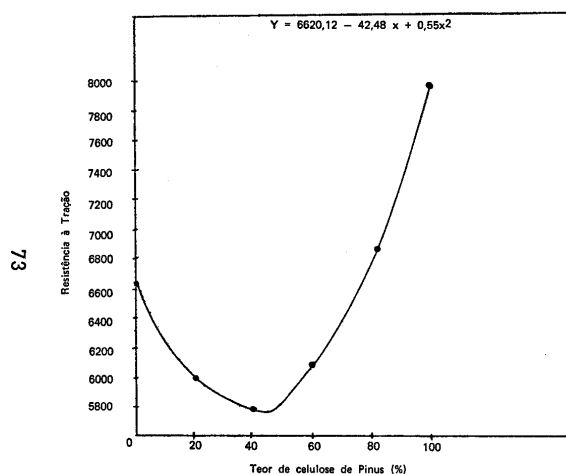


FIGURA 1: Resistência à tração das misturas de celuloses em função do teor de celulose de Pinus caribaea.

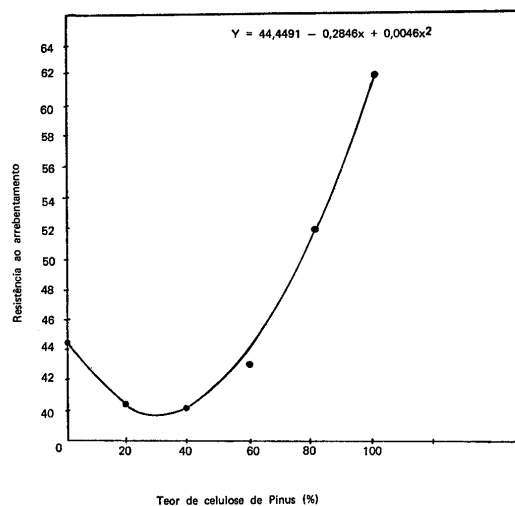
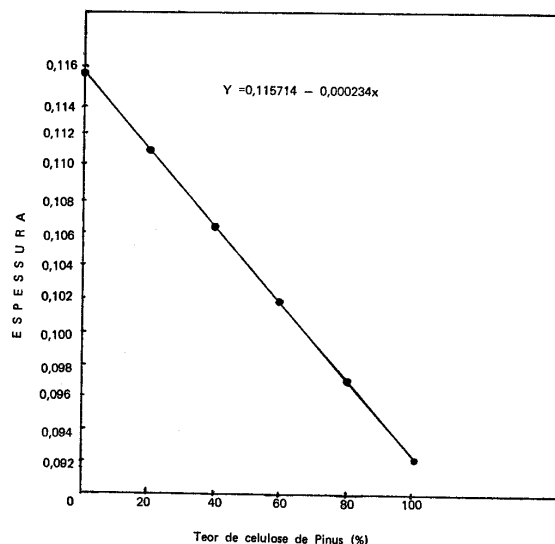
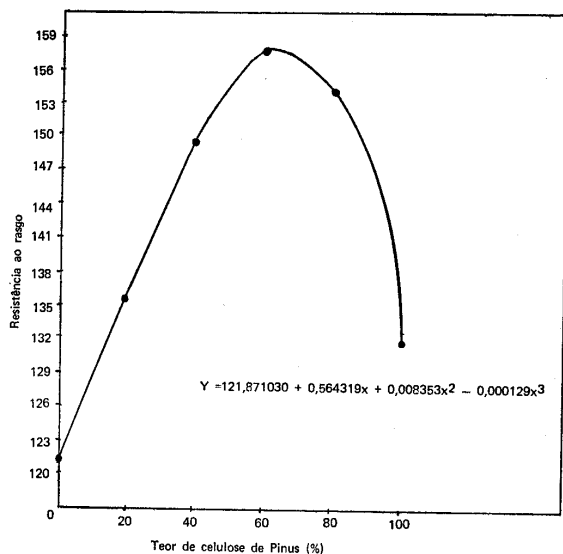


FIGURA 2: Resistência ao arrebentamento das misturas de celuloses em função do teor de celulose de Pinus caribaea.



## 5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

O pronunciado aumento na resistência ao rasgo obtido quando da mistura da celulose de conífera com celulose de folhosa pode ser explicado da seguinte forma: durante o ensaio de resistência ao rasgo, um certo número de fibras são quebradas pelo esforço, enquanto outras fibras são arrancadas inteiras da estrutura da folha. A energia necessária para quebrar uma fibra é geralmente bem inferior àquela para extrair a fibra intacta da folha. Evidentemente, quanto maior a fibra, maior é o trabalho necessário para arrancá-lo do corpo do papel. Uma vez que a moagem provoca um aumento da ligação inter-fibras e

esta característica quanto bem desenvolvida, evita que mais fibras sejam arrancadas inteiras da rede, o decréscimo em resistência ao rasgo obtido quando se refina celulose de conífera é plenamente justificado. Numa celulose de folhosa há necessidade de maior ligação inter-fibras por unidade de comprimento de fibra para evitar que as fibras curtas sejam arrancadas da rede fibrilar. Assim, o aumento na resistência ao rasgo dentro de certos limites conforme aumenta o grau de moagem, é justificável.

De acordo com VAN DEN AKKER et alii, 1958, o número relativo de fibras que se quebram quando uma folha de papel de conífera é rasgado, é bastante alto: 75 a 80%. Pode-se concluir que quando da ligação de celulose de folhosa, suavemente refinada, as fibras curtas formam ligações fracas com as fibras longas de conífera, aumentando assim as possibilidades das últimas serem arrancadas da estrutura ao invés de se romperem. A partir de 40% de celulose de folhosa em relação ao total da mistura, o efeito benéfico da celulose de folhosa na resistência ao rasgo diluiu-se. Desta forma, a resistência ao rasgo começa a diminuir para teores maiores de celulose de folhosa, já que esta passa a predominar na mistura e a sua resistência ao rasgo é individualmente menor que a de conífera.

Relativamente às resistências à tração e ao arrebentamento, conforme usual, observaram-se modelos de variação inversos em relação à resistência ao rasgo.

A espessura das folhas decresceu linearmente com o aumento do teor de celulose de **Pinus caribaea** na mistura. contrariamente, o peso específico aparente das folhas aumentou com o aumento do teor de celulose de **Pinus caribaea**. Explicam-se estas variações pelo provável colapso das fibras de paredes delgadas da celulose de conífera, obtida a partir de madeira juvenil, com fibras ainda imaturas. É bem sabido também que celuloses sulfato de folhosas são possuidoras de alto volume específico aparente quando pouco refinadas.

O rápido aumento na resistência ao dobramento com o acréscimo no teor de celulose de **Pinus caribaea** na mistura estava dentro das expectativas. As celuloses de coníferas geralmente possuem, baixos graus de refinações como neste caso, uma resistência ao dobramento de 10 a 30 vezes maior que as celuloses de folhosas.

Como conclusão, pode-se afirmar que as misturas de fibras de características diferentes parecem oferecer grandes possibilidades de se produzir papéis com propriedades pré-estabelecidas. Isto se aplica não somente a misturas de celuloses de coníferas e folhosas como a misturas de celuloses de mesma matéria prima mas diferentemente processadas.

## 6. BIBLIOGRAFIA

1. ARLOV, A. P. -1962 - Eating and blending of bleached softwood and hardwood pulps. In: EUCEPA Symposium, 6.0/European, TAPPI Joint Meeting, 8.0, Estocolmo, set. 1962 - **Proceedings**.
2. ASSIS, C. de et alii - 1968 - contribuição para o aproveitamento da bracatinga mimosa na indústria papelreira. In: **Congresso Florestal Brasileiro**. 1.º, Curitiba, 1968. 15 p.
3. BARRICHELO, L. E. G. & FOELKEL, C. E. E. - 1974 - **Misturas de celuloses: 2 - Variação nas propriedades físico-mecânicas da celulose sulfato de *Eucalyptus saligna* quando substituída parcialmente por celulose sulfato de *Pinus caribaea* var. hondurensis** Piracicaba, ESALQ, Departamento de Silvicultura. 12 p. (Série Divulgação e Pesquisa, TP - C/9).



4. BLOMQVIST, L. - 1962 - Mixed and separate beating of birch and pine sulphates in a conical laboratory beater. In: EUCEPA Symposium, 6.<sup>o</sup>/European TAPPI Joint Meeting, Estocolmo, set. 1962 - **Proceedings**.
5. FOELKEL, C. E. E. & EARRICHELO, L. E. G. -1974 - Variação nas propriedades físico-mecânicas da celulose kraft de **Araucaria angustifolia** quando substituída parcialmente por celulose sulfato de **Eucalyptus saligna**. In: Convenção Anual da AECF, 7.<sup>a</sup>, São Paulo - **Trabalhos técnicos**. p.131 -5.
6. VAN DEN AKKER, I. A. et alii - 1958 - **TAPPI**. New York, **41** : 416.



## COMPANHIA AGRO FLORESTAL MONTE ALEGRE

—oCo—

**ELABORAÇÃO, EXECUÇÃO E ADMINISTRAÇÃO DE PROJETOS  
FLORESTAIS**

**VENDA DE MUDAS DE PINUS TROPICAIS, EUCALYPTUS E  
ESSÊNCIAS NATIVAS**

**VENDA DE SEMENTES DE PINUS TROPICAIS E TEMPERADOS:**

<b>Pinus caribaea</b>	var.	<b>hondurensis,</b>
<b>Pinus caribaea</b>	var.	<b>caribaea,</b>
<b>Pinus caribaea</b>	var.	<b>bahamensis,</b>
<b>Pinus kesiya,</b>		
<b>Pinus oocarpa,</b>		
<b>Pinus elliottii</b>	var.	<b>elliottii,</b>
<b>Pinus elliottii</b>	var.	<b>densa, etc</b>

**VENDA DE MADEIRA TRATADA (PALANQUES, REPIQUES, POSTES)**

**ENDEREÇO: FAZENDA MONTE ALEGRE  
CAIXA POSTAL N.º 50 — AGUDOS SP  
FONES: 179, 251 e 300**

**VIVEIROS PRÓPRIOS — MAIS DE 15 ANOS DE EXPERIÊNCIA**

# Comp. Agrícola e Industrial CÍCERO PRADO

## PAPÉIS — CELULOSE

Papéis: Cristalite — Granado — Flor Post — Sêda  
Kraft — Monolúcido

Cartolinas: Duplex Cromo — Draft para Lixa

## PAPÉIS ESPECIAIS PARA CARTONAGENS CELULOSE DE EUCALIPTO

### S E D E:

AVENIDA RIO BRANCO, 1675 — SÃO PAULO  
ENDEREÇO TELEGRÁFICO: «CICERPRADO»  
CAIXA POSTAL, 7727

### F Á B R I C A :

FAZENDA CORUPUTUBA — PINDAMONHANGABA  
TELEFONES: 2641 — 2642 — 2643 — EST. S. PAULO