



# variações nas propriedades físico-mecânicas da celulose kraft de araucária angustifolia quando substituída parcialmente por celulose sulfato de eucalyptus saligna

CELSO E. B. FOELKEL  
LUIZ E. G. BARRICHELO

Seção de Tecnologia de Celulose e Papel  
Depto. de Silvicultura-Esalq  
Universidade de São Paulo

## RESUMO

Este trabalho teve como finalidade estudar as variações das propriedades de uma celulose kraft de *Araucaria angustifolia* quando esta 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 melhoraram a qualidade do produto final em termos de resistência à tração e ao arrebentamento, não afetaram o peso específico aparente, prejudicando porém a resistência ao rasgo.

## SUMMARY

The objective of this work was the study of the variation of a *Araucaria angustifolia* kraft pulp when 10, 20 and 30% of the furnish was made up of *Eucalyptus saligna* sulfate pulp. The results had shown that pulp

blendings improved burst and tensile strength did not affect specific gravity and decreased tear strength.

## 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 aproveitar os excedentes de matérias-primas ou de se baratear o custo do produto final.

*Araucaria angustifolia* (Pinheiro do Paraná) é uma espécie cuja madeira se encontra bastante valorizada atualmente. Misturas de sua celulose com outras obtidas de madeiras de menor custo é uma alternativa bastante interessante, desde que a qualidade do produto final não seja prejudicada. O presente trabalho teve como finali-

dade estudar as propriedades de uma celulose kraft de *Araucaria angustifolia* e de misturas desta com pequenas proporções de celulose sulfato de *Eucalyptus saligna*.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Existem algumas opiniões na literatura segundo as quais a substituição de 10 a 20% de fibras curtas em pastas de fibras longas, não introduz nenhuma alteração substancial na qualidade do papel (1). Entretanto, cuidados especiais devem ser tomados quando da produção de papéis tipo "kraft" de alta resistência, a partir de misturas de celuloses de fibras longas e curtas. Sugerem-se neste caso, estudos especiais de como, quando e quanto misturar para otimizar a operação (2).

Relativamente a trabalhos realizados no Brasil, nada foi en-

contrado relatando resultados de misturas de celuloses de **Araucaria angustifolia** e **Eucalyptus saligna** para produção de papéis de alta resistência. Tem-se observado porém, que o problema da escassez cada vez maior de madeira de **Araucaria angustifolia** tem preocupado os fabricantes de celulose, os quais passaram a se voltar para o estudo de outras espécies como fonte de matéria-prima. Nesse sentido, Assis e colaboradores (3) apresentaram interessante trabalho abordando a possibilidade de se realizarem cozimentos kraft de **Araucaria angustifolia** e bracinga, simultaneamente. Os autores concluíram que a qualidade do papel decrescia conforme aumentava a porcentagem de bracinga na mistura.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 — Material

##### 3.1.1 — Madeira

A madeira de **Araucaria angustifolia** utilizada na produção da celulose kraft era proveniente de Lages - Santa Catarina, de povoamentos naturais com idade estimada entre 15 e 20 anos. A madeira de **Eucalyptus saligna** era oriunda de Mogi Guaçu, São Paulo, de povoamentos artificiais com 5 anos de idade.

Para uma melhor identificação dos materiais utilizados, foram determinadas as seguintes características das madeiras: densidade básica, comprimento e largura das fibras, diâmetro do lúmen e espessura da parede celular. Os valores médios obtidos para tais propriedades estão apresentados no Quadro I.

##### 3.1.2 — Celulose

Os dois tipos de celuloses foram obtidos a partir das madeiras de **Araucaria angustifolia** e

**Eucalyptus saligna** caracterizadas no item anterior. As condições empregadas para os cozimentos das madeiras são apresentadas no Quadro II.

A seguir, as celuloses refinadas foram prensadas até uma consistência de aproximadamente 15% e armazenadas para o preparo de folhas para testes.

QUADRO II: Condições dos cozimentos

Condições	Espécie	A. angustifolia	E. saligna
— Alkali ativo (%)		18	12
— Atividade (%)		88	88
— Sulfidez (%)		25	25
— Temperatura máxima (°C)		165	165
— Tempo até temperatura máxima (hrs)		1,5	2,0
— Tempo à temperatura máxima (hrs)		1,5	0,5
— Relação licor/madeira		4:1	4:1
— Concentração inicial de Na <sub>2</sub> O ativo (g/l)		45	30

#### 3.2 — Métodos

##### 3.2.1 — Refinação das celuloses

As celuloses foram refinadas separadamente em moinho Jokro visando o desenvolvimento das propriedades físico-mecânicas sem que ocorresse diminuição sensível na resistência ao rasgo para a celulose de **Araucaria angustifolia**.

A consistência de refinação foi 5% para a celulose de **Araucaria angustifolia** e 6% para a de **Eucalyptus saligna**. Os tempos de moagem e correspondentes graus de refinação, expressos em grau Schopper Riegler, são mostrados no Quadro III.

##### 3.2.2 — Preparação das folhas para testes

Com a finalidade de estudar as variações nas propriedades da celulose de **Araucaria angustifolia** quando parcialmente substituída por celulose de **Eucalyptus saligna**, foram adotados cinco tratamentos:

- T<sub>1</sub> — 100% de celulose de **Araucaria angustifolia**
- T<sub>2</sub> — 90% de celulose de **Araucaria angustifolia** e 10% de celulose de **Eucalyptus saligna**
- T<sub>3</sub> — 80% de celulose de **Araucaria angustifolia** e 20% de celulose de **Eucalyptus saligna**
- T<sub>4</sub> — 70% de celulose de

QUADRO III: Tempos e graus de moagem

Moagem	Espécie	A. angustifolia	E. saligna
— Tempo de moagem (horas)		1,0	0,5
— Grau de moagem (°SR)		16	31

QUADRO I: Características anatômicas e físicas das madeiras.

Características	Espécie	A. angustifolia	E. saligna
— Comprimento da fibra (mm)		5,08	0,87
— Largura da fibra (μ)		45,30	17,95
— Diâmetro do lúmen (μ)		33,50	12,00
— Espessura da parede celular (μ)		5,90	2,97
— Densidade básica (g/cm <sup>3</sup> )		0,430	0,527

**Araucaria angustifolia** e 30% de celulose de **Eucalyptus saligna**

- T<sub>5</sub> — 100% de celulose de **Eucalyptus saligna**

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 pro-

porções adotadas. Utilizou-se para tal o formador de folhas e secadores tipo Koethen Rapid. Cinco repetições por tratamento foram empregadas, sendo que o experimento seguiu um esquema inteiramente casualizado.

### 3.2.3 — Ensaios físico-mecânicos

Para evitar o efeito de variações ambientais nos resultados, os corpos de prova foram acondicionados em ambiente padronizado à temperatura de  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa de  $65 \pm 2\%$ . A seguir, as seguin-

tes determinações foram realizadas:

- gramatura: expressa em gramas pelo comprimento de auto-ruptura (metros)
- resistência ao arrebentamento: expressa pelo índice de arrebentamento
- resistência ao rasgo expressa pelo índice de rasgo
- peso específico aparente: expresso em gramas por centímetro cúbico.

## 4. RESULTADOS

Os valores encontrados para as resistências à tração, ao ar-

rebentamento e ao rasgo e para peso específico aparente estão apresentados nos Quadros IV, VI, VIII e X, respectivamente. Para se verificar o efeito dos tratamentos em cada uma destas propriedades, utilizou-se de análise estatística, através dos testes F e de Tukey. As significâncias dos contrastes entre pares de médias de tratamentos, testadas pelo teste de Tukey, estão apresentadas nos Quadros V, VII, IX e XI. Estes quadros se referem respectivamente às resistências à tração, ao arrebentamento e ao rasgo e ao peso específico aparente.

**QUADRO IV:** Resistência à tração, expressa pelo comprimento de auto-ruptura (metros)

Tratamentos	Repetição					Média
	1	2	3	4	5	
T <sub>1</sub>	5398	4969	4752	4859	4926	4981
T <sub>2</sub>	6342	6534	6287	5698	5603	6093
T <sub>3</sub>	5762	6287	5783	5752	5685	5854
T <sub>4</sub>	6839	7070	6471	5682	5766	6366
T <sub>5</sub>	9331	8068	8188	8296	9053	8587

$$F = 43,03 \quad **$$

$$\text{Diferença mínima significativa (5\%)} = 865$$

$$\text{Diferença mínima significativa (1\%)} = 1081$$

$$\text{Coeficiente de variação} = 7,2\%$$

**QUADRO V:** Significância dos contrastes entre pares de médias.

Tratamentos	Média	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
T <sub>1</sub>	4981	—	—	—	—	—
T <sub>2</sub>	6093	1112 **	—	—	—	—
T <sub>3</sub>	5854	873 *	239	—	—	—
T <sub>4</sub>	6366	1385 **	273	512	—	—
T <sub>5</sub>	8587	3606 **	2494 **	2733 **	2221 **	—

\* = estatisticamente significativo a 5% de probabilidades

\*\* = estatisticamente significativo a 1% de probabilidades

**QUADRO VI:** Resistência ao arrebentamento, expressa pelo índice de arrebentamento

Tratamentos	Repetição					Média
	1	2	3	4	5	
T <sub>1</sub>	39,0	36,6	31,7	34,0	31,8	34,6
T <sub>2</sub>	46,6	41,0	40,9	34,5	31,6	38,9
T <sub>3</sub>	41,5	39,5	41,5	39,6	34,2	39,3
T <sub>4</sub>	50,0	49,4	41,4	36,2	33,1	42,0
T <sub>5</sub>	65,1	59,4	61,8	54,6	58,7	59,9

$$F = 68,17 \quad **$$

$$\text{Diferença mínima significativa (5\%)} = 5,0$$

$$\text{Diferença mínima significativa (1\%)} = 6,3$$

$$\text{Coeficiente de variação} = 6,1\%$$

**QUADRO VII:** Significância dos contrastes entre pares de médias

Tratamentos	Média	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
T <sub>1</sub>	34,6	—				
T <sub>2</sub>	38,9	4,3	—			
T <sub>3</sub>	39,3	4,7	0,4	—		
T <sub>4</sub>	42,0	7,4 **	3,1	2,7	—	
T <sub>5</sub>	59,9	25,3 **	21,0 **	20,6 **	17,9 **	—

**QUADRO VIII:** Resistência ao rasgo, expressa pelo índice de rasgo

Tratamentos	Repetições					Média
	1	2	3	4	5	
T <sub>1</sub>	238	236	292	240	262	254
T <sub>2</sub>	169	190	180	194	244	195
T <sub>3</sub>	190	198	193	227	238	209
T <sub>4</sub>	168	177	178	198	207	186
T <sub>5</sub>	142	149	146	128	128	139

$F = 19,24 **$

Diferença mínima significativa (5%) = 40

Diferença mínima significativa (1%) = 50

Coefficiente de variação = 10,8%

**QUADRO IX:** Significância dos contrastes entre pares de médias

Tratamentos	Média	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
T <sub>1</sub>	254	—				
T <sub>2</sub>	195	59 **	—			
T <sub>3</sub>	209	45 **	14	—		
T <sub>4</sub>	186	68 **	9	23	—	
T <sub>5</sub>	139	115 **	56 **	70 **	47 *	—

**QUADRO X:** Peso específico aparente, expresso em g/cm<sup>3</sup>

Tratamentos	Repetições					Média
	1	2	3	4	5	
T <sub>1</sub>	0,597	0,615	0,642	0,630	0,626	0,622
T <sub>2</sub>	0,623	0,623	0,625	0,624	0,635	0,626
T <sub>3</sub>	0,625	0,612	0,611	0,625	0,631	0,621
T <sub>4</sub>	0,635	0,635	0,630	0,624	0,626	0,630
T <sub>5</sub>	0,654	0,644	0,646	0,656	0,661	0,652

$F = 8,77 **$

Diferença mínima significativa (5%) = 0,018

Diferença mínima significativa (1%) = 0,023

Coefficiente de variação = 1,5%

QUADRO XI: Significância dos contrastes entre pares de médias

Tratamentos	Média	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
T <sub>1</sub>	0,622	—				
T <sub>2</sub>	0,626	0,004	—			
T <sub>3</sub>	0,621	0,001	0,005	—		
T <sub>4</sub>	0,630	0,008	0,004	0,009	—	
T <sub>5</sub>	0,652	0,030 **	0,026 **	0,031 **	0,022 *	—

## 5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 5.1 — Resistência à tração

Com base nos resultados obtidos para esta propriedade, observou-se que a substituição por celulose de *Eucalyptus saligna* colaborou para que a mesma aumentasse, em relação à celulose pura de *Araucaria angustifolia*. Os tratamentos T<sub>1</sub> e T<sub>5</sub> mostram-se significativamente diferentes dos demais e diferentes entre si. Os dois constituíram-se nos dois extremos para os valores de resistência à tração, sendo que T<sub>1</sub> foi o inferior e T<sub>5</sub> o superior. Não foram constatadas diferenças significativas entre T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> e T<sub>4</sub>. Isso significa que, quando resistência à tração é a propriedade em questão, adições de 10 a 30% de celulose de *Eucalyptus saligna* possuem efeitos semelhantes, melhorando a resistência em relação à celulose pura de *Araucaria angustifolia*.

### 5.2 — Resistência ao arrebentamento

Relativamente a resistência ao arrebentamento, notou-se que substituições de até 20% de celulose de *Eucalyptus saligna* não provocaram aumentos significativos. Porém, a incorporação de 30% desta celulose melhorou significativamente esta propriedade, com relação à celulose pura de *Araucaria angustifolia*. O tratamento T<sub>5</sub>, ou seja, 100% de celulose de *Eucalyptus saligna* caracterizou-se pelos maiores valores de resistência ao arrebentamento.

### 5.3 — Resistência ao rasgo

Os tratamentos T<sub>1</sub> e T<sub>5</sub> foram significativamente diferentes dos demais e diferentes entre si para esta propriedade. Isto significa que a resistência ao rasgo diminuiu significativamente, mesmo com a substituição de quantidade muito pequena por celulose de *Eucalyptus saligna*. Quando excepcionalmente alta resistência ao rasgo é desejada, torna-se desaconselhável a mistura nas proporções estudadas neste trabalho. Em termos práticos porém, as diferenças de resistência entre os tratamentos T<sub>1</sub> e T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> T<sub>4</sub> não são problemáticas para muitas utilizações do produto final. Levando-se em conta que os tratamentos T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> e T<sub>4</sub> não se mostraram estatisticamente diferentes, substituições de 10 a 30% por celulose de *Eucalyptus saligna* diminuiriam o custo do produto final, sem que fosse prejudicada sua qualidade para inúmeras utilizações.

### 5.4 — Peso específico aparente

O único tratamento que se mostrou diferente foi T<sub>5</sub>. Não foram observadas diferenças estatísticas entre T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> e T<sub>4</sub>. Portanto, misturas de até 30% de celulose de *Eucalyptus saligna* em celulose de *Araucaria angustifolia* não alteraram seu peso específico aparente.

## 6. CONCLUSÕES

Com base nos resultados encontrados e nas condições em que se realizou este experimento, pode-se concluir:

1. A substituição parcial por celulose de eucalipto melhorou a resistência à tração da celulose de araucária sendo indiferente a percentagem empregada entre 10 e 30%.

2. Em termos de resistência ao arrebentamento a substituição parcial por celulose de fibra curta só melhorou significativamente esta propriedade com a substituição de 30%.

3. A substituição de 10% de fibras longas por fibras curtas já afetou significativamente a resistência ao rasgo da celulose de araucária. Notou-se por outro lado um comportamento semelhante quando se substitui 10, 20 ou 30% das fibras longas.

4. O peso específico aparente das folhas não se alterou com as substituições citadas.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- BLOMQUIST, L. — 1962 — Em "Proceedings of the Sixth Eucepa Symposium/Eighth European Tappi Joint Meeting". 7pp.
- ARLOV, A. P. — 1962 — Em "Proceedings of the Sixth Eucepa Symposium/Eighth European Tappi Joint Meeting", 10 pp.
- ASSIS, C. de, C. AGOTANI, LEONEL KOLESKI, M. MANTAU, R. M. SPELTZ e W. GALAT — 1968 — "Contribuição para aproveitamento da Bracatinga Mimosa na Indústria Papeleira". I Congresso Florestal Brasileiro, Curitiba, PR, 15pp.