



Características da madeira e da celulose sulfato branqueada de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

Beatriz Vera Pozzi Redko *

Acácio Hiroto Nariyoshi *

Jeives Bastos Aragão *

Introdução

A celulose de fibra longa é a celulose produzida em maior quantidade no mundo e a que apresenta maior demanda, devido às suas características de desempenho.

Uma das fontes de celulose de fibra longa no Brasil é a madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, pinácea cultivada em vários estados do país. A Jari Celulose S.A. produz, anualmente, 170.000 toneladas de celulose sulfato branqueada de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* a partir de suas plantações nos estados do Pará e do Amapá.

O gráfico 1 mostra o rendimento florestal da madeira plantada na região em comparação com a de outras coníferas, podendo-se notar que ela se situa entre as mais produtivas fontes de fibra longa do mercado.

A madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, plantada pela Jari Celulose S.A., tem apresentado densidades variando entre 0,4 e 0,6 g/cm³ aos 11 anos de idade.

Este trabalho analisa como as características da madeira de duas populações de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, de densidade 0,46 +/- 0,3 g/cm³ e 0,54 +/- 0,3 g/cm³, podem ter afetado o seu desempenho na fabricação de celulose sulfato branqueada. As duas populações foram usadas alternadamente na produção de celulose pela Jari Celulose S.A. ao

Beatriz Vera Pozzi Redko

Acácio Hiroto Nariyoshi

Jeives Bastos Aragão

* Jari Celulose S.A.

longo de 300 dias, de junho de 1990 a junho de 1992.

Desenvolvimento do trabalho

B. Zobel declarou que as quatro propriedades mais importantes da madeira com relação às características da celulose final são densidade, densidade, densidade e densidade (1). Densidade é a propriedade da madeira que tem maior correlação com os produtos dela obtidos, como é extensamente descrito na literatura (1, 2, 3, 4, 12, 13, 21 entre outros).

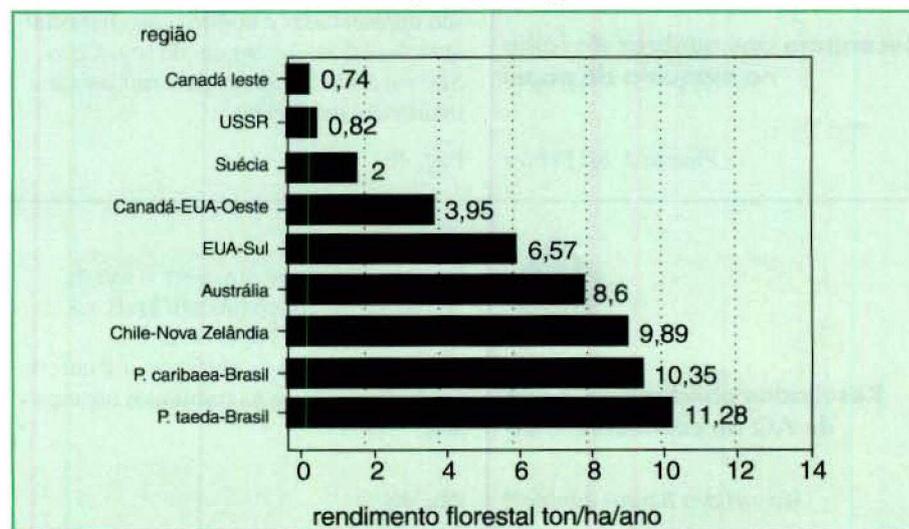
Pináceas exóticas podem apresentar variações de densidade quando plantadas em um ambiente novo. A variação pode ser resultante do período de crescimento, da velocidade de crescimento,

respostas a padrões de umidade e de solo diferentes, diferentes seqüências de estações e quantidades de iluminação (2).

A densidade da madeira é uma boa indicação do tamanho individual de suas células e da espessura de suas paredes, em pináceas da mesma espécie, porque as células são produzidas de uma maneira uniforme a partir da divisão cambial da célula-mãe (3). Uma fileira de células varia de tamanho na direção radial, perpendicularmente aos anéis anuais.

A densidade da madeira é uma forma prática de prever as propriedades finais da celulose. Notamos que as fibras provenientes de lenho tardio são mais rígidas que as provenientes de lenho inicial.

Gráfico 1: Rendimentos florestais de madeiras de coníferas para produção de celulose



Fontes: Bavel, Wood Resources Quaterly, PPI

As propriedades do papel decorrentes da ligação fibra a fibra serão diferentes nos dois casos.

Em pináceas, as formações de lenho inicial e de lenho tardio se alternam durante o ano e estão, principalmente, sob a influência das auxinas, hormônios que regulam o crescimento da árvore e que são produzidos pelo broto apical e pelas últimas brotações das folhagens (3). A espessura da parede de uma célula é a resultante da velocidade de deposição da celulose e da lignina e do tempo de duração dessa deposição. Pensa-se que a modificação de lenho inicial para lenho tardio é o resultado da mudança do balanço das auxinas, que promove um aumento da fase de espessamento da parede (3). O balanço das auxinas está ligado aos fatores que influenciam o crescimento da árvore, como solo, clima e regime de chuvas.

O regime de deposição de celulose e lignina, na parede das células, varia com o lugar nas células e entre as células. Andrews (4) e Zobel (5) mostram que separando-se os anéis de crescimento da madeira e cozinhando-se paralelamente nas mesmas condições cavacos do lenho inicial e do lenho tardio, a celulose proveniente do lenho tardio irá apresentar menor número kappa e maior rendimento que a celulose proveniente do lenho inicial.

Como em pináceas da mesma espécie, a densidade é função da distribuição do lenho inicial e do lenho tardio, avaliamos a distribuição dos lenhos nas duas populações de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* de densidades diferentes utilizadas, e a correlacionamos com o seu comportamento no cozimento e no branqueamento e com o desempenho da celulose final.

Características da madeira

Para verificar a distribuição do lenho inicial e do lenho tardio das duas populações, escolhemos uma árvore típica de cada população, com 11 anos de idade, tendo ambas a mesma procedência da semente (*Pinus caribaea* var. *hondurensis*, procedência Alamicamba). Retiramos um disco de 2 cm de espessura no DAP de cada árvore, medimos suas dimensões e as distâncias entre os anéis e separamos com canivete anel por anel, e em cada anel o lenho inicial e o lenho tardio. As determinações foram feitas individualmente para cada fração. As dimensões das fibras foram medidas após maceração com ácido nítrico e as fibras

foram medidas por microscópio de projeção.

Os resultados encontrados estão registrados nos gráficos 2 a 9. Estudos de outras amostras representativas das mes-

mas populações, a serem publicados posteriormente, mostram tendência idêntica à encontrada nas características morfológicas dessas duas árvores.

Verificamos que as populações com

Gráfico 2: Variação da densidade do lenho por anel anual

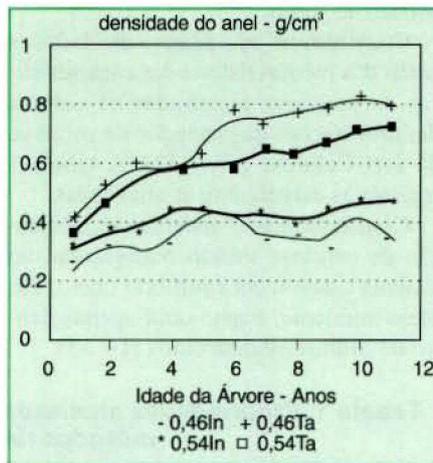


Gráfico 3: Árvore densi 0,54 g/cm³-acréscimo anual-volume lenho inicial e tardio

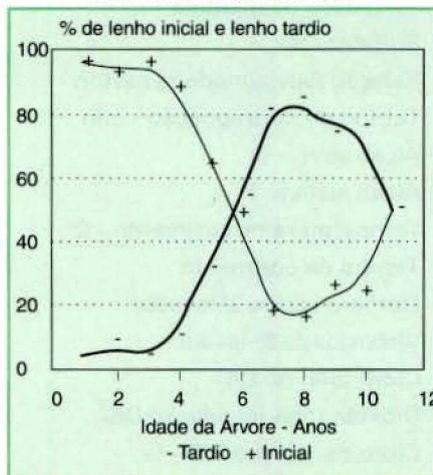


Gráfico 4: Árvore densi 0,46 g/cm³-acréscimo anual-volume lenho inicial e tardio

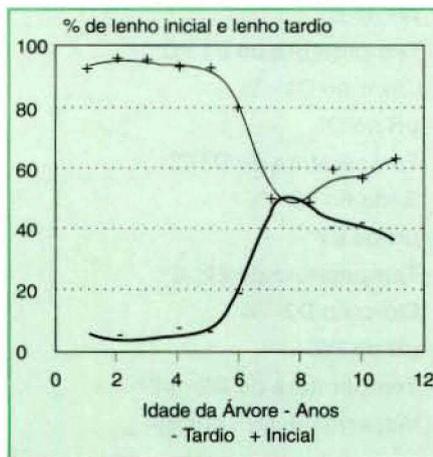


Gráfico 5: Variação da densidade da madeira com a idade da árvore

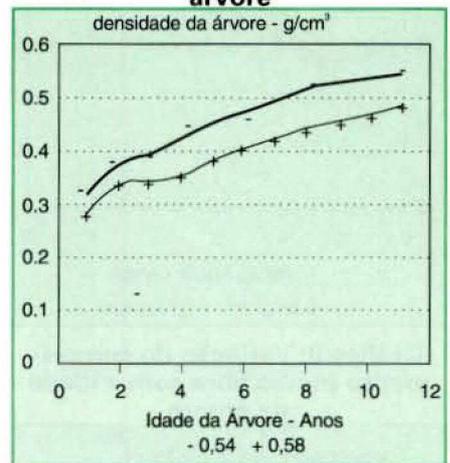


Gráfico 6: Variação da largura média das fibras com a idade da árvore

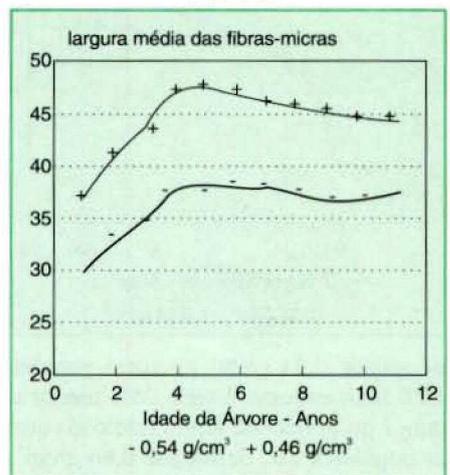


Gráfico 7: Variação da largura média do lúmen com a idade da árvore

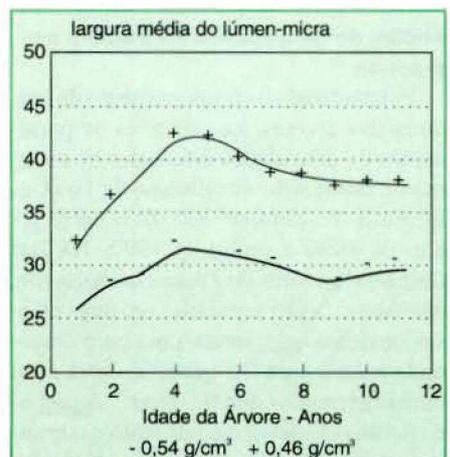


Gráfico 8: Variação da espessura média parede com a idade da árvore

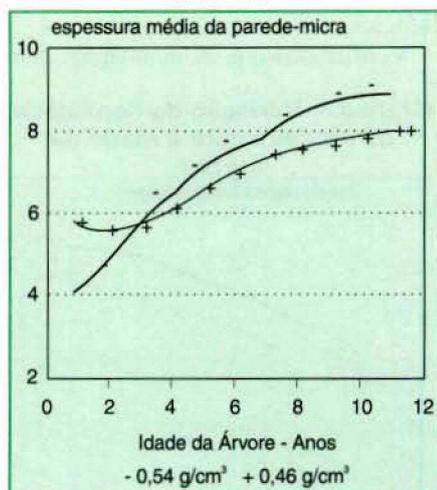
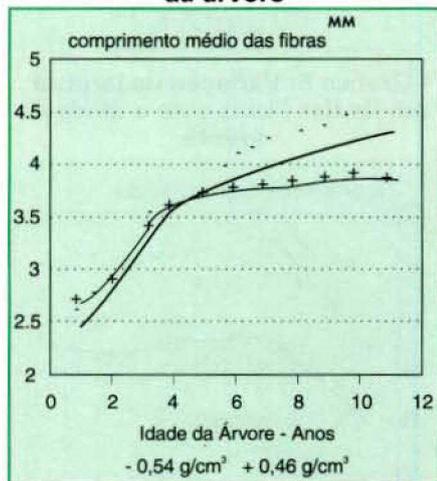


Gráfico 9: Variação do comprimento médio fibra com a idade da árvore



densidade $0,54 \text{ g/cm}^3$ possuem paredes 11% mais espessa, lúmen 25% menor e maior proporção de lenho tardio do que as populações de densidade $0,46 \text{ g/cm}^3$, como está ilustrado no gráfico 10. De acordo com a literatura, podemos esperar diferenças no cozimento e no branqueamento entre os dois materiais.

Análise do desempenho da madeira no processo

Foi analisado o comportamento da madeira das árvores provenientes de populações de densidades diferentes no sistema de fabricação de celulose da Jari Celulose S.A., durante 300 dias, entre junho de 1990 e junho de 1992. Na Jari Celulose, as toras de *Pinus caribaea var. hondurensis* são separadas em duas classes de densidade, sendo uma com densidade menor que $0,5 \text{ g/cm}^3$ e outra com densidade maior que $0,5 \text{ g/cm}^3$. A preparação dos cavacos, o cozimento e o branqueamento são feitos separadamente com

a madeira de cada classe de densidade.

As instalações da fábrica consistem em um conjunto de oito digestores descontinuos e um sistema de branqueamento, operando no período considerado na seqüência D/C, E1, D1, E2 e D2. O dióxido de cloro é fabricado pelo sistema R4 e o *make-up* é completado com sulfato de sódio.

Construímos um banco de dados a partir das médias diárias das características do processo, registradas no sistema de informações da produção de celulose da Jari Celulose S.A. (22). A tabela 1 registra as características analisadas.

Consideramos o sistema de fabricação de celulose sulfato branqueada um sistema estável, em equilíbrio com o seu meio ambiente, e que varia apenas dentro de limites estabelecidos (14, 15).

Qualquer sistema dinâmico pode ser descrito como um sistema de equações, gerando um modelo. Os modelos estão certos quando são de alguma utilidade na explicação de casos reais (15).

Dividimos o sistema em partes correspondentes às etapas do processo: cozimento, dioxidação/cloração, primeira extração alcalina, primeira dioxidação, segunda extração alcalina e segunda dioxidação. Consideramos o comportamento de cada parte como estável e linear porque, estando o sistema sob controle, as variáveis de alimentação só oscilam dentro de certos limites.

Usamos a rotina de correlação múltipla do pacote *Statgraphics* para a avaliação das correlações de primeiro grau entre a velocidade de deslignificação, a viscosidade da massa marrom e a viscosi-

Tabela 1: Propriedades analisadas, variáveis de alimentação, siglas e métodos de determinação

Propriedade/variável de alimentação	Sigla	Método
Peso seco da madeira - %	ps	Tappi T258 om85
Sulfidez - %	sd	Tappi 624 os68
Relação lixívia/madeira m^3/ton	rlm	Painel controle
Tempo de impregnação - min	imp	Painel controle
Álcali ativo - %	aa	Tappi 624 os68
Álcali efetivo %	ae	Tappi 624 os68
Temperatura de cozimento - $^{\circ}\text{C}$	tcz	Painel controle
Tempo de cozimento	czm	Painel controle
Número kappa 3 ^o .lavador	nk	ABTCP
Viscosidade 3 ^o lavador	v3l	SCAN C15:62
Cloro total no D/C	cldc	Kajaani
Dióxido total na relação D/C	d	Kajaani+painel
Cloro na relação D/C - %	c	Kajaani+painel
pH do D/C	phdc	pHmetro Fisher
Temperatura D/C - $^{\circ}\text{C}$	tdc	Painel controle
Soda no E1 - %	nhe1	Painel controle
pH do E1	phe1	pHmetro Fisher
Temperatura do E1 - $^{\circ}\text{C}$	te1	Painel controle
Cloro no D1 - %	cld1	Kajaani
pH no D1	phd1	pHmetro Fisher
Temperatura do D1 - $^{\circ}\text{C}$	td1	Painel controle
Soda no E2 - %	nhe2	Painel controle
pH do E2	phe2	pHmetro Fisher
Temperatura do E2 - $^{\circ}\text{C}$	te2	Painel controle
Cloro no D2 - %	cld2	Painel controle
pH do D2	phd2	pHmetro Fisher
Temperatura do D2 - $^{\circ}\text{C}$	td2	Painel controle
Viscosidade D2 - cm^3/g	vd2	SCAN C15:62

dade da celulose após a segunda dioxidação e cada um dos parâmetros do cozimento, individualmente.

Escolhemos a viscosidade da segunda dioxidação como parâmetro do desempenho da madeira durante o processo porque, de acordo com o banco de dados da Jari Celulose, ela apresenta mais de 90% de correlação com o desempenho da celulose de *Pinus caribaea var. hondurensis* nos ensaios físico-mecânicos. A viscosidade tem sido diretamente proporcional à resistência, à tração, ao rasgo e ao estouro da celulose produzida, para madeiras de mesma classe de densidade (22).

Analisamos o efeito dos parâmetros em cada parte do sistema, usando a rotina *Stepwise Variable Selection*, modos *Backward* e *Forward*, do mesmo pacote *Statgraphics*, para avaliar os fatores que tiveram influência maior que 99,0% na deslignificação, na viscosidade da massa marrom e na viscosidade da celulose após branqueamento. Os resultados encontrados estão indicados na tabela 2.

Examinamos a influência do álcali ativo, da temperatura de cozimento e da relação lixívia/madeira na deslignificação para cada uma das populações, para avaliar o efeito da densidade da madeira na retirada da lignina da parede celular. A figura 1 apresenta as superfícies de resposta obtidas a partir das equações da tabela 2, usando-se a rotina *Response Surface Generation* do pacote *Statgraphics*.

Usando as rotinas de correlação múltipla e *Stepwise Variable Selection*, modos *Backward* e *Forward*, do mesmo pacote *Statgraphics*, verificamos as variáveis de cada um dos estágios de branqueamento que tiveram influência na viscosidade final da celulose, para a celulose proveniente das duas populações de diferentes classes de densidade.

Avaliamos, também, as variáveis do branqueamento que tiveram influência significativa em nível de 99,0% na viscosidade da celulose final.

No reagrupamento para a escolha da influência dos parâmetros do processo na viscosidade final, escolhemos as variáveis que em cada estágio apresentaram influência com nível de significância acima de 99,0% (15, 16, 17, 18, 19) e aquelas com nível de significância maior que 95% que, pelos dados históricos de nosso sistema e por informações de literatura, apresentam importância para o decréscimo da viscosidade.

Em casos reais, uma significância de 70%, por exemplo, indica que determinado fenômeno ocorre a maioria das vezes no caso analisado (17, 18, 19).

A tabela 3 ilustra a influência que as condições de branqueamento e que as condições totais do processo tiveram na viscosidade final da celulose, de acordo com a densidade da madeira empregada no processo de fabricação.

Os fatores de correlação r^2 encontrados, mais baixos do que os usualmente obtidos em experimentos de laboratório, efetuados em condições controladas (15, 16, 17, 18, 19), se justificam pelos seguintes motivos:

- a madeira é um material biológico, sujeita a variações de árvore para árvore e dentro da própria árvore;

- a idade da madeira empregada no período variou entre 8 e 18 anos, com uma média de 11 anos. As características do lenho da mesma espécie podem apresentar elevada variabilidade entre idades diferentes;

- devido ao sistema de separação por classes de densidade, o tempo de estocagem e o peso seco foram variáveis dentro da mesma classe de densidade;

- algumas características da madeira podem variar com a estação do ano, procedência, solo ou tratamentos silviculturais;

- os insumos empregados, soda, sulfeto de sódio, dióxido de cloro, apresentaram, ao longo do período de dois anos considerado, variações maiores do que as ocorrentes em um ensaio efetuado em condições controladas.

Tabela 2: *Pinus caribaea var. hondurensis* - densidade da madeira e cozimento

Número kappa	R2	F
D = 0,46 g/cm ³		
nk = 75,3801-0,070429(ps)- -0,412958(aa)+2,364308(rlm)-0,258781(tcz)	0,4934	40,90
D = 0,54 g/cm ³		
nk = -13,591981-0,733025(aa)-0,076067(imp)+ +0,39647(tcz)-0,020678(czm)	0,5898	44,57
Viscosidade da massa marrom		
D = 0,46 g/cm ³		
v3l = 935,442769-4,128197(ps)+5,61192(sd)- -11,171522(ae)+38,01579(rlm)+0,991308(imp)	0,3666	19,21
D = 0,54 g/cm ³		
v3l = 1540,02709 + 4,620962(sd)- -31,93295(aa) - 0,61954(imp)	0,5244	45,94
Viscosidade D2		
D = 0,46 g/cm ³		
vd2 = 4143,089762-5,633077(ps)+4,980838(sd) 0,762057(imp) - 19,69589(tcz)	0,4669	36,74
D = 0,54 g/cm ³		
vd2 = 1134,474079+5,933023(sd)- -29,304554(ae) - 0,792057(imp)	0,3571	23,16
Significância- 99,0%		

Tabela 3: *Pinus caribaea var. hondurensis* - densidade da madeira e viscosidade D2

Influência do branqueamento		
D = 0,46 g/cm ³	R2	F
vd2 = 1008,289619 + 1,953643(d) - 3,828778(tdc)+44,814467(nhe1)+47,442159(phd1)-4,843243(td1) - 49,8496349(cld2)	0,4901	26,59
D = 0,54 g/cm ³		
vd2 = 1468,093016+17,122629(cldc)-80,934922(phe2)-70,146694(cld2) +39,41799393(phd2)	0,3795	17,73
Influência do cozimento e do branqueamento		
D = 0,46 g/cm ³		
vd2 = 4499,187599 - 2,804846(ps)+ 4,806583(sd) - 21,300709(tcZ)+ 0,669943(d) + 38,896725(nhe1) + 26,507577(phd1) - 5,483408(td1)+ 87,81933(nhe2) - 39,645532(cld2)	0,6029	27,60
D = 0,54 g/cm ³		
vd2 = 4936,734398 + 11,798867(sd) - 27,154096(tcZ) + 10,607812(cldc) + 46,738034(nhe1) + 44,536608(phd1) - 5,996467(td1) + 30,250695(phd2)	0,6206	26,41
Significância - 99,0%		

Os gráficos 11a e 11b ilustram a correlação entre o índice de rasgo e o índice de tração que ocorre nas folhas formadas com celulose proveniente de madeira de *Pinus caribaea var. hondurensis* de densidade 0,46 g/cm³ e 0,54 g/cm³. A refinação foi feita em refinador Valley de acordo com a norma ISO 5264, nas folhas formadas segundo a norma ISO 5269 e os ensaios físico-mecânicos de acordo com as normas ISO 1924 e ISO 1974.

As fibras provenientes da população de densidade 0,46 g/cm³ são menos rígidas e têm paredes um pouco menos espessas do que as fibras provenientes da população de densidade 0,54 g/cm³, o que justifica uma diferença de 5% no desempenho entre as características do papel feito a partir das duas populações.

Avaliação do desempenho da madeira

Observando-se os gráficos 1 a 11 e as tabelas 1 a 3, já mencionados, notamos características diferentes no desempenho das duas populações.

Conclusões

Comparando-se o desempenho das populações de *Pinus caribaea var. hondurensis*

de densidade 0,46 g/cm³ e 0,54 g/cm³, podemos concluir:

- a população de densidade 0,46 possui em média 22% de lenho tardio, 8 micra de espessura de parede e 36 micra de lúmen. A população de densidade 0,54 g/cm³ possui em média 48% de lenho tardio, 9 micra de espessura de parede e 28,7 micra de lúmen, apresentando fibras mais rígidas;

- a diferença morfológica ocasionou diferenças no desempenho da madeira no cozimento, no branqueamento e no uso final;

- a população de densidade 0,54 g/cm³ produziu celulose de mesmo kappa e maior viscosidade que a de densidade 0,46 g/cm³ quando tratada em condições de cozimento 10% menos agressivas, evitando-se a polimerização da lignina e a quebra da cadeia;

- a penetração dos reagentes de branqueamento ao longo da parede celular do *Pinus caribaea var. hondurensis* depende de sua espessura. A partir do mesmo kappa, a celulose de madeira mais densa consumiu 10% mais cloro no D/C que a de madeira menos densa para o mesmo grau de alvura, devido à dificuldade do transporte do cloro em sua parede de 11% mais espessa. A aplicação do

Gráfico 11a: *Pinus caribaea var. hondurensis* índice de rasgo e índice de tração

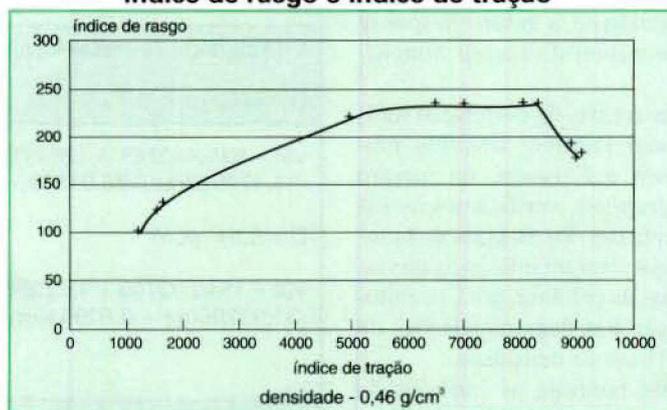
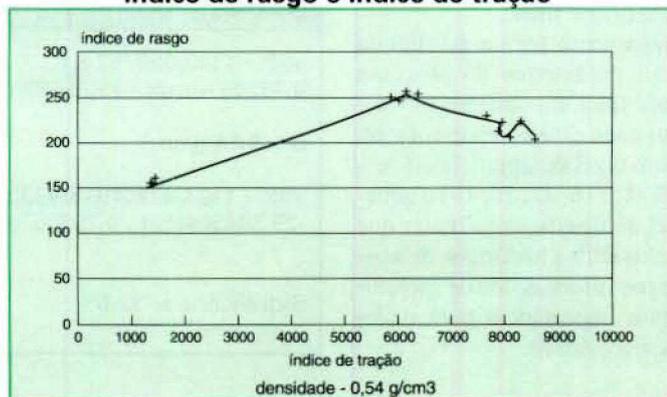


Gráfico 11b: *Pinus caribaea var. hondurensis* índice de rasgo e índice de tração



***Pinus caribaea var. hondurensis* densidade 0,46 e 0,54 g/cm³
Avaliação do desempenho da madeira no cozimento**

Densidade 0,46 g/cm³ A

81,1% de lenho inicial (média)
18,9% de lenho tardio
Lúmen 25% maior (36 micra), espessura parede 11% menor (8 micra)
Maior retenção de água (10)
Peso seco médio 51%
Quebra da cadeia pouco afetada pela concentração da lixívia
Lúmen+pontuações maiores, parede menor>arraste+fácil da lignina da parede >> menor polimerização lignina com o aumento da temperatura de cozimento (11, 19, 20)
Precisa de 10% mais álcali para o mesmo grau de deslignificação
Deslignificação influenciada pela concentração da lixívia

Quebra da cadeia não afetada pelo tempo de impregnação

Melhores resultados com menor peso seco da madeira

Densidade 0,54 g/cm³ B

51,9% de lenho inicial (média)
48,1% de lenho tardio
Lúmen 25% maior (28,7micra), espessura parede 11% maior (9 micra)
Menor retenção de água (10)
Peso seco médio 68%
Quebra da cadeia muito afetada pela concentração lixívia
Lúmen+pontuações menores, parede maior>arraste+difícil da lignina da parede >> maior polimerização lignina com o aumento da temperatura de cozimento (11, 19, 20)
Precisa de 10% menos álcali para o mesmo grau de deslignificação

Deslignificação menos influenciada pela concentração da lixívia

Quebra de cadeia muito afetada pelo tempo de impregnação

Resultados independentes do peso seco da madeira

Ref: Gráficos 1 a 10, tabela 2, figuras 1 e 2.

***Pinus caribaea var. hondurensis* densidade 0,46 e 0,54 g/cm³
Desempenho da madeira no cozimento e branqueamento**

Densidade 0,46 g/cm³ A

Menor peso seco da madeira = maior viscosidade final
Sulfidez diretamente proporcional à viscosidade final

Viscosidade inversamente proporcional à temperatura de cozimento
Mais dióxido no D/C=maior viscosidade final da celulose
Lignina retirada no D/C diretamente proporcional à viscosidade final
pH11 diretamente proporcional à viscosidade final

Deveria ser usado menos ClO₂ no D2 para aumento da viscosidade final

Lúmen 25% maior, parede 11% menor, tração 5% maior, rasgo 5% menor

Ref: Tabela 3, gráfico 10

Densidade 0,54 g/cm³ B

Viscosidade final independente do peso seco da madeira
Aumento de sulfidez influencia a viscosidade final 2 vezes mais do que em A (madeira+seca cadeia mais degradável pelo álcali)

Menor viscosidade que em A para mesmo aumento de temperatura de cozimento
Menor múltiplo de cloro D/C= menor viscosidade final da celulose
Lignina retirada no D/C aumenta viscosidade final 10% + do final que em A
pH-D1>maior influência na viscosidade final que em A>maior teor lignina residual, parede mais espessa>minimiza a hidrólise

Parede 11%+espessa,+lignina residual>>controle de pH do final D2 evita a quebra da parede celular

Lúmen 25% menor, parede 11% maior tração 5% maior, rasgo 5% maior

dióxido antes do cloro no D/C resolve o problema, quando a relação usada no D/C é maior do que 30/70;

- a celulose de madeira mais densa tem tendência a sub branqueamento no D/C, gerando cromóforos que irão consumir mais dióxido de cloro posteriormente;

- para haver uma maior eficiência na remoção da lignina da celulose do *Pinus caribaea var. hondurensis* o uso do dióxido no D/C deve ser maximizado. Então a degradação da parede celular é evitada usando-se menos ClO₂ no D1 e no D2 para a obtenção da mesma alvura;

- o pH do D1 foi diretamente proporcional à viscosidade da celulose final e ao baixo consumo de reagentes no branqueamento. A celulose de madeira mais densa é mais facilmente degradável no D1 do que a de madeira menos densa;

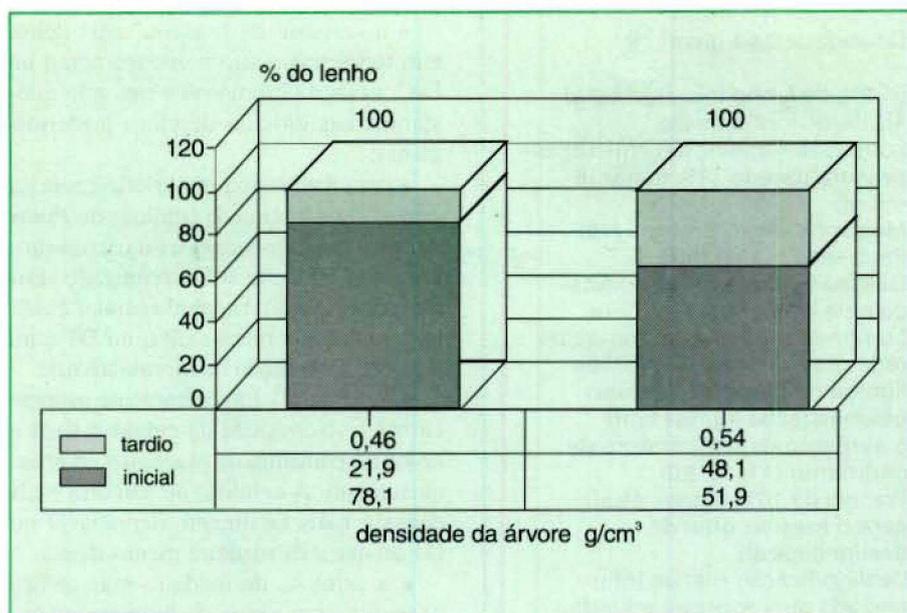
- a celulose de madeira mais densa necessita uma rotina de branqueamento menos agressiva que a de madeira menos densa para atingir o mesmo grau de alvura sem que haja quebra na cadeia de carboidratos;

- a espessura da parede tem como consequência um elevado fator de rasgo para a celulose das duas populações. A população de densidade 0,54 g/cm³ apresenta fator de rasgo 5% maior que a população de 0,46g/cm³. A resistência à tração é maior para a população de 0,46 g/cm³.

Referências bibliográficas

1. ZOBEL, Bruce; TALBERT, John T. - *Applied Forest Tree Improvement* - New York: John Wiley & Sons, 1983.
2. ZOBEL, Bruce J.; WYK, Gerrit van; STAHL, Per - *Growing Exotic Forests* - New York: John Wiley & Sons, 1987.
3. MEGRAW, R.A. - *Wood Quality Factors in Loblolly Pine, the Influence of Tree Age, Position on Tree, and Cultural Practice on Wood Specific Gravity, Fiber Length and Fibril Angle* - Tappi Press: Atlanta, 1985.
4. ANDREWS, E.K. - *Impact of Fiber Morphology and Chemical Composition on the Kraft Process and Subsequent Handsheet Properties* - In: Tappi 1986. Research and Development Conference, Raleigh, Carolina. Atlanta: Tappi Press, 1986.
5. BENNINGTON, C.P.J.; KEREKES, R.J. & GRACE, J.R. - *Mixing in Pulp Bleaching* - In: Tappi 1988 International Pulp Bleaching Conference, Orlando, Florida.
6. REEVE, Douglas W.; EARL, Paul F. - *Mixing Gases, Water and Pulp in Bleaching*, Tappi Journal, p. 84-88,

Gráfico 10: *Pinus caribaea* var. *hondurensis*-lenho inicial e tardio e densidade da árvore



***Pinus caribaea* var. *hondurensis* densidade 0,46 e 0,54 g/cm³
Avaliação do desempenho da madeira no branqueamento**

Densidade 0,46 g/cm³ A

Viscosidade final diretamente proporcional ao dióxido D/C. Cloro penetra na parede celular antes do dióxido, ataca lignina e dióxido evita quebra da cadeia (5,6,7,8)

Viscosidade final aumentaria com o aumento do múltiplo de cloro no D/C (efeito + na NaOH do E1) : haveria menor esforço de branqueamento no D1 e D2.

Viscosidade final diretamente proporcional ao pH do D1

Dióxido no D2 afeta menos a perda de viscosidade (menos lignina residual, parede 11% menos espessa). Parede menos espessa 11% >> branqueamento 11% mais fácil que em B se Cl e Cl₂ são aplicados juntos no D/C

Ref.: tabela 3

Densidade 0.54 g/cm³ B

Viscosidade final aumenta com o múltiplo de cloro no D/C:

. Cloro penetra na parede celular antes do dióxido (5,6,7,8,)

. Múltiplo de cloro <0.17 produz cromóforos que consomem mais dióxido no D1 e no D2 (8)

. Múltiplo de cloro <0,17 não é suficiente para penetração através da parede celular (9)

. Dióxido de cloro deveria ser aplicado antes do cloro D/C, ou o múltiplo usado deveria haver uma pré-oxidação

Dióxido no D2 afeta mais a perda de viscosidade que em A(mais lignina residual, parede 11% mais espessa).

Parede mais espessa 11% >> branqueamento 11% mais difícil que em A se Cl + Cl₂ simultâneos no D/C. Cl₂ antes é mais eficiente.

July 1986.

7. TIBBLING, Petter - *Medium Consistency Chlorination: studies in a High Intensity Laboratory Mixer* - In: Tappi 1988 - International Pulping Conference, Orlando, Florida.

8. AXEGARD, Peter - *Effect of Prebleaching with Chlorine and Chlorine Dioxide on Cleanliness of Softwood Kraft Pulp* - Svensk Papperstidning, n° 10, p. 284-292, 1980.

9. PUGLIESI, Sebastian C.;

MCDONOUGH, Thomas J. - *Kraft Pulp Chlorination: a new Mechanicist Description* - Tappi Journal, p. 159-167, March 1989.

10. AHLGREN, P.; WOOD, J.R.; GORING, D. A. I. - *The Fiber Saturation Point of Various Morphological Subdivisions of Douglas - Fir and Aspen Wood* - Wood Science and Technology Vol.6, p. 81-84, 1972.

11. GORING, D. A. I. - *The Role of Ultrastructure in the Removal of*

Lignin during Pulp Washing - Trabalho apresentado na XXI Eucepa International Conference - Torremolinos, Espanha.

12. FOELKEL, Celso; MORA, Ervin; MENOCELLI, Sérgio - *Densidade Básica: sua verdadeira utilidade como índice de qualidade da madeira de eucalipto na produção de celulose* - Trabalho apresentado no 6° Congresso Florestal Brasileiro, Campos do Jordão, São Paulo, Brasil, 22-27 setembro 1992.

13. DIAS, R.I.Vasconcellos; SILVA Jr, E.Cláudio da - *Pulp and Paper Properties as Influenced by Wood Density - Same Species and Age of Eucalyptus in Papermaking Raw Materials* - In: Transactions of the Eight Fundamental Research Symposium, Oxford, 1985.

14. WEINBERG, Gerald M. - *An Introduction to General Systems Thinking* - New York: John Wiley & Sons, 1975.

15. WEINBERG, Gerald M. & WEINBERG, Daniela - *On the Design of Stable Systems* - New York: John Wiley & Sons, 1979.

16. DEMING, Stanley N. & MORGAN, Stephen - *Experimental Design: a Chemometric Approach* - New York: Elsevier, 1987.

17. BOX, George E.P. & DRAPER, Norman R. - *Empirical Model Building and Response Surfaces* - New York: John Wiley & Sons, 1987.

18. BOX, G.E.P. & YOULE, P.Y. - *The Exploration and Exploitation of Response Surfaces: an Example of the Link Between the Fitted Surface and the Basic Mechanism of the System* - Biometrics, n° 11, p. 297, 1955.

19. RYDHOLM, Sven A. - *Pulping Processes* - New York: Interscience, 1965.

20. KOCUREK, M.J. (Ed.) - *Alkaline Pulping* - Atlanta: Tappi Press, 1989. (Pulp and Paper Manufacture Series).

21. ZOBEL, Bruce & BLAIR, Roger - *Wood and Pulp Properties of Juvenile Wood and Topwood of the Southern Pines* - In: Applied Polymer Symposium n° 28, 1976. p. 421-433.

22. *Gerência de Controle de Qualidade e Processos* - Monte Dourado: Cia. Florestal Monte Dourado - Jari.

23. BAVEL, André van - *The Raise of Radiata Pine* - In: Market Pulp Conference, Montreal, Canadá, 28-29 outubro, 1991.

24. KNIGHT, Patrick - *Brasil: Profits Poor, but Production Prolific* - PPI, p. 103-104, July, 1992.

25. *Average Densities of Principal Pulpwood Species* - Wood Resource Quarterly, v. 4, n° 1, April, 1991.