

Importância da Densidade e do Teor de Carboidratos Totais da Madeira de Eucalipto no Desempenho da Linha de Fibra

Alfredo Mokfienski - al.mokf@terra.com.br (*)

José L. Gomide- jlgomide@ufv.br (*)

Jorge L. Colodette - colodett@ufv.br (*)

Rubens C. Oliveira - rchaves@ufv.br (*)

(*) Universidade Federal de Viçosa, Laboratório de Celulose e Papel, Viçosa, MG, Brazil.

RESUMO

O objetivo deste estudo foi fazer uma avaliação de um conjunto de parâmetros de qualidade de dez madeiras de *Eucalyptus sp.* (densidade básica, composição química e características dimensionais das fibras), verificar o impacto desses parâmetros e suas associações no rendimento do processo de polpação kraft e na qualidade da polpa branqueada. Madeiras de eucalipto de diferentes espécies, com densidades básicas variando de 365 a 544 kg/m³ e teores de carboidratos totais variando de 70,0 a 74,5%, foram transformadas em polpa celulósica kraft de kappa 17-18 e branqueadas até alvura de 90% ISO, utilizando a seqüência de branqueamento O-D-(PO)-D. Os resultados mostraram que, em geral, a densidade básica da madeira apresentou correlação mais significativa, que a constituição química, com as características anatômicas, com o rendimento gravimétrico da polpação e com a qualidade das polpas. As madeiras mais leves proporcionaram maiores rendimentos. O consumo específico de madeira foi menor para madeiras mais densas apesar destas requererem polpação mais drástica para um mesmo nível de deslignificação. Com base nos resultados obtidos neste estudo, pode-concluir que as madeiras mais leves, pelas suas características anatômicas, podem ser direcionadas para a fabricação de papeis de escrita e impressão enquanto as madeira mais densas para o segmento de papeis absorventes.

Palavras-chaves: Eucalyptus, madeira, celulose Kraft, análise química, dimensões de fibras.

ABSTRACT

The purpose of this study was to evaluate the quality parameters of *Eucalyptus sp* wood (basic density, chemical composition and fiber dimensions) and verify the impact of these parameters on pulping yield and quality of bleached pulp. Ten eucalypt woods of different species, with basic density varying from 365 to 544 kg/m³ and total wood carbohydrate content varying from 70,0 to 74,5% were transformed into kraft pulp of kappa number 17-18 and bleached (O-D-(PO)-D) to 90% ISO brightness. The results showed that wood basic density presented stronger correlation than chemical composition with wood fiber dimensions, pulping yield and quality of bleached pulp. Lighter woods presented higher yield. However, wood specific consumption was smaller for denser woods, even though they demanded more drastic pulping conditions for the same delignification level. Based on the results obtained it was concluded that lower density eucalypt woods could be directed to manufacture of printing and writing papers while denser woods could be directed to the segment of absorbent papers.

Key words: Eucalyptus, wood, chemical composition, fiber dimensions, kraft pulp.

1 - INTRODUÇÃO

A qualidade do produto final, celulose ou papel, depende da qualidade da madeira e das condições do processo de fabricação. Por suas características químicas e anatômicas, a celulose de eucalipto tem sido muito utilizada na fabricação de papéis de escrita e impressão e papeis absorventes (tissue). A qualidade da madeira resulta de aspectos silviculturais e da combinação de características físicas, anatômicas e químicas [35]. A diferenciação de florestas para produtos específicos (commodities) é uma alternativa tecnológica com potencial para aumentar o rendimento de polpa, reduzir custo de fabricação e melhorar a qualidade dos produtos.

Um estudo do conjunto de características da “árvore industrial” mostrou que a densidade básica, juntamente com crescimento volumétrico e o rendimento do processo de polpação são as características de maior impacto na capacidade e custo de produção [21]. O estudo mostrou, ainda, que a densidade básica é a característica que exerce maior influência na qualidade da polpa. No entanto, a densidade básica é um parâmetro de qualidade complexo pois varia radial e longitudinalmente numa mesma árvore, entre árvores de mesma espécie, entre espécies, com a idade, espaçamento e local dos plantios [5, 6, 7, 15, 17, 18, 19, 22, 31, 33, 36, 40].

A madeira é constituída de celulose, hemiceluloses, lignina, extrativos e de uma pequena fração de inorgânicos, distribuídos nas diversas camadas que compõem a fibra. No processo de polpação

química, a lignina é dissolvida para liberar o material fibroso constituído basicamente de holocelulose (celulose e hemiceluloses). A dissolução da lignina na polpação depende do tipo de ligações e dos grupos funcionais presentes em sua estrutura como, por exemplo, os grupos metoxílicos. Segundo PEREIRA et al. [32], em estudos realizados com *Eucalyptus grandis*, quanto maior a relação siringila/guaiacila presente na lignina, menor será o consumo de álcali na polpação. Como base nos resultados, os autores recomendaram a inclusão dessa relação como critério de seleção de madeira de eucalipto para fabricação de polpa celulósica. Por outro lado, ALMEIDA et al. [1] estudaram a influência de extrativos na polpação kraft e recomendaram a sua inclusão como importante parâmetro potencial de seleção de eucalipto para produção de polpa kraft. Os extrativos impactam negativamente na madeira, processo e qualidade da polpa final, apesar da maior parte ser dissolvida nas etapas iniciais do processo de polpação.

Estudos feitos por DIAS et al. [17] mostraram que as madeiras com densidades básicas na faixa de 470-490kg/m³ proporcionam o maior rendimento do processo kraft. No entanto, os projetos de melhoramento florestal e os critérios de projeto de novas fábricas de celulose contemplam madeiras de eucalipto com densidades superiores a 500kg/m³. Madeiras mais densas normalmente requerem cozimentos mais drásticos, em termos de temperatura e carga de álcali, com redução marginal de rendimento. No entanto, o custo-benefício é atrativo tendo em vista a maior produtividade do processo.

Pelo exposto, percebe-se a necessidade de estudos mais aprofundados para avaliar o impacto da densidade básica associada à química da madeira como alternativa para diferenciar madeira para produção de produtos específicos, melhorar o desempenho do processo de produção e a qualidade da polpa produzida e, também, a qualidade do produto final.

O objetivo deste estudo foi fazer uma avaliação de um conjunto de parâmetros de qualidade de dez madeiras de *Eucalyptus sp.* (densidade básica, composição química e características dimensionais das fibras), verificar o impacto desses parâmetros e suas associações no rendimento do processo de polpação kraft e na qualidade da polpa branqueada.

2 - MATERIAIS E MÉTODOS

Foram usados cavacos de dez madeiras de *Eucalyptus* de densidade básica e composição química bastante diferentes, codificados neste estudo como A (*Eucalyptus globulus*), B (*Eucalyptus nitens*), C e D (*Eucalyptus urograndis*), E, F, G e H (*Eucalyptus grandis*), I e J (*Eucalyptus urophylla*).

Na avaliação da qualidade da madeira, polpa e licor, exceto quando mencionado, foram usados procedimentos da TAPPI. Os teores de lignina insolúvel e solúvel foram medidos de acordo com GOMIDE e DEMUNER [25] e GOLDSCHMID [23], respectivamente. O teor de pentosanas foi medido pelo método brometo/bromato conforme BROWING [3]. A relação siringila/guaiacila da lignina foi determinada por cromatografia líquida após oxidação da serragem da madeira com nitrobenzeno, conforme LIN & DENCE [30]. Os teores de carboidratos da madeira foram determinados por cromatografia gasosa, após hidrólise ácida da madeira conforme GOMIDE e DEMUNER [25]. Os teores de grupos acetila da madeira foram determinados por cromatografia de acordo com metodologia adaptada de SOLAR et al. [38]. Os teores de ácidos hexenurônicos das polpas foram determinados de acordo com o método proposto por VUORINEN et al. [42].

Os cozimentos kraft foram realizados em digestor rotativo, adaptado com quatro reatores de aço inox, de 2 litros cada um, tendo sido realizados oito cozimentos com kappa 17-18 para cada madeira. As condições usadas nos cozimentos foram: cavacos = 250 gramas, temperatura máxima = 170°C; sulfidez = 30%; tempo até temperatura = 90 minutos; relação licor/madeira = 4/1 e tempo à temperatura 90 = minutos. Amostra de licor residual foi coletada para determinação do álcali ativo residual, consumo de álcali no cozimento e teor de sólidos.

O branqueamento foi feito com a seqüência O-D-(PO)-D até alvura 90% ISO. A deslignificação com oxigênio (O) e a extração oxidativa (PO) foram realizadas em reator/misturador pressurizado modelo Mark V, da Quantum Technologies Inc. Os estágios de dioxidação foram realizados em sacos de polietileno aquecidos em banho de vapor termostaticado. Amostra de licor residual foi coletada após cada estágio de branqueamento para determinação de residuais. As condições gerais do branqueamento estão indicadas no Quadro 1.

As polpas foram refinadas em moinho PFI para obtenção de curvas de refino na faixa de 15 a 50°SR. As propriedades físico-mecânicas das polpas foram medidas em função do grau Schopper Riegler em folhas de aproximadamente 60 g/m². Os testes de resistência à tração foram realizados em aparelho de testes INSTRON, modelo 4204, com sistema computadorizado de análise e aquisição de dados, com distância entre garras de 100mm, velocidade de teste de 25mm/min e capacidade da célula de carga de 1000N. Os testes de resistência ao rasgo, arrebentamento e passagem de ar foram

realizados, respectivamente, nos aparelhos Elmendorf, Mullen e Gurley. As propriedades óticas foram medidas em aparelho Datacolor, modelo Elrepho 450X, e a mensuração das fibras em vídeo microscópio computadorizado e em aparelho de medição automática Galai CIS-100.

Quadro 1 - Condições do branqueamento utilizadas na seqüência O-D-(PO)-D

Condições	Unidades	Estágios de Branqueamento ECF			
		0	Do	PO	D
Consistência	%	10	10	10	10
Pressão de O ₂	kPa	500	-	500	-
Tempo de reação	min	60	60	90	180
pH	-	10,5	3	10,5	3,5
Temperatura	°C	100	80	80	70
Carga de O ₂	Kg/t	20	-	25	-
Carga de ClO ₂	% ativo	-	Base FK (**)	-	(*)
Carga de H ₂ O ₂	Kg/t	-	-	5	-
Carga de NaOH	Kg/t	20	-	12	-
Carga de H ₂ SO ₄	%	-	(*)	-	(*)

(*) Carga de ClO₂ para atingir alvura final 90% ISO; Carga de H₂SO₄ para atingir pH especificado.

(**) FK = 0,24 = (% ClO₂) / (número kappa da polpa na descarga do Pré-O₂).

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização da madeira

O Quadro 2 mostra os resultados de mensurações das fibras das polpas branqueadas que foram realizadas em vídeo microscópio computadorizado e no Galai-CIS-100. As mensurações determinadas em microscópio foram realizadas em fibras inteiras. Alternativamente, o comprimento das fibras, bem como o "coarseness" (mg/100m de fibra) e o número de fibras/grama foram medidos no Galai CIS-100 que identifica partículas em suspensão aquosa passando por um capilar.

Quadro 2 - Resultados das análises morfológicas das fibras

Análises/Resultados	Polpas									
	E	F	H	C	I	G	B	A	D	J
Densidade básica, kg/m ³	365	389	406	421	430	433	484	516	525	544
Teor de carboidratos, %	70,5	73,1	74,5	70,0	72,1	70,9	70,3	72,6	70,4	70,7
Comprimento de fibra, mm	0,98	0,93	0,89	0,97	0,97	0,89	0,75	0,77	0,96	0,91
Diâmetro de fibra, µm	22,1	21,7	20,8	20,2	20,8	21,6	20,1	21,0	19,0	17,7
Diâmetro de lúmen, µm	13,3	12,2	10,9	11,0	10,8	11,7	11,5	11,6	8,71	7,75
Espessura de parede, µm	4,39	4,73	4,98	4,62	5,02	4,97	4,32	4,68	5,17	4,99
Número de fibras/ grama x 10 ⁶	33,8	28,1	32,2	31,5	25,5	28,5	38,0	25,4	26,1	25,1
Coarseness, mg/100m de fibra	4,58	5,65	4,93	5,21	6,09	5,57	4,99	6,67	6,20	6,52
Teor de finos, %	8,56	8,56	6,34	8,05	8,56	7,27	7,84	7,87	7,27	7,65

Observa-se no Quadro 2 que não houve variação significativa no comprimento de fibras das madeiras de densidades básicas extremas (densa e leve). No entanto, madeiras mais leves apresentaram maiores diâmetros de fibra e de lúmen, menores teores de finos e menores espessuras de parede de fibra e menor valor de "coarseness". Fibras com menores espessuras de parede e maiores diâmetros de lúmen têm maior potencial de colapso, facilidade de refino, maior área de contato entre fibras na formação da folha de papel e, logo, maior resistência mecânica. A resistência mecânica, associada à opacidade, constitui-se no principal atributo de qualidade de papeis de escrita e impressão, também chamados de papeis refinados. Por outro lado, fibras de madeiras mais densas, com maior espessura de parede são mais rígidas e são indicadas para a fabricação de papeis absorventes (papeis pouco ou não-refinados) de alto volume específico, alta capacidade de retenção de água e maciez e de menor lisura. Em geral, observou-se correlações mais significativas das características morfológicas das

fibras com a densidade básica que com a composição química (teor de carboidratos totais), conforme mostrado no Quadro 3.

Quadro 3 - Correlações da densidade básica e composição química da madeira com as características morfológicas

Variável dependente	Densidade Básica			Carboidratos Totais		
	Equação	R ²	R	Equação	R ²	R
Largura da fibra	Y=-0,0171X + 28,215	0,640	(-) 0,80	Y= 0,30056XS - 0,9801	0,116	0,34
Diâmetro do lúmen	Y= -0,0201X + 19,993	0,580	(-) 0,76	Y= 0,2004X - 3,3894	0,034	0,18
Espessura de parede	Y= 0,0015X + 4,1216	0,102	0,32	Y= 0,0511X + 1,1299	0,072	0,27
Número de fibras/grama	Y = -0,029X + 42,521	0,172	(-) 0,41	Y= -0,5359X + 67,752	0,034	(-) 0,18
Coarseness (mg/100m)	Y=0,0086X + 1,7544	0,555	0,75	Y= 0,0248X + 3,8705	0,003	0,05
Teor de finos	Y=-0,0031XS + 9,2151	0,075	(-) 0,27	Y= -0,1394X + 17,768	0,086	(-) 0,29

Os resultados de densidade básica e constituição química das madeiras analisadas estão apresentados no Quadro 4. Neste Quadro pode ser observado que as madeiras apresentaram considerável variação tanto na densidade básica como na constituição química. O valor máximo de densidade básica foi encontrado para a madeira J de *E.urophylla* (544 kg/m³) e o valor mínimo para a madeira E de *E.grandis* (365 kg/m³). Os teores de pentosanas nas madeiras variaram de 13,5% (madeira I – *E.urophylla*) a 18,6-18,5% (madeiras A e B - *E.globulus* e *nitens*). O teor de extrativos solúveis em álcool/tolueno apresentou variação, com um mínimo de 1,28% (madeira A – *E.globulus*) e um máximo de 2,66% (madeira J – *E.urophylla*). Em geral, os extrativos prejudicam o desempenho do processo de fabricação de polpa, pois provocam formação de incrustações em equipamentos, tubulações e tanques e na qualidade do papel com a formação de micelas de “pitch” [1]. O teor de lignina total apresentou diferença de apenas 3,9% entre as madeiras, variando de 24,2% (*E.grandis* – madeira H) a 28,8% (*E.urograndis* - madeira C).

Tendo em vista que o objetivo da polpação é a remoção seletiva da lignina e liberação da porção fibrosa da madeira, as madeiras com baixos teores de lignina e de extrativos propiciam melhor desempenho da polpação em termos de rendimento e consumo de álcali. Por outro lado, o maior teor de hemiceluloses observado em algumas madeiras (B, A, J e E) sugere o uso para papeis refinados. A fração de hemiceluloses na polpa facilita o refino e contribui para maior densidade de ligações na formação do papel e sua resistência.

Do exposto, as madeiras de densidade moderada a alta, com alto teor de hemiceluloses (C, G, B, A, D e J) e com teor comparativamente alto de lignina, deverão requerer polpação mais drástica, resultando em menor rendimento mas deverão ser mais atrativas em termos de produtividade.

Observa-se que ocorreu variação significativa na relação siringila/guaiacila da lignina dentre as dez amostras de madeira de eucalipto analisadas, sendo o valor mínimo de 2,20, observado no *E.urophylla* (madeira J) e o máximo de 4,38% determinado no *E.globulus* (madeira A). As estruturas de lignina siringila são mais fáceis de serem degradadas pelos reagentes de cozimento, necessitando de menos álcali para alcançar um mesmo número kappa final, resultando em menor perda de rendimento no processo [32]. Na literatura especializada [9, 43] são encontrados valores de relação lignina siringila/guaiacila variando de 0,51 até 5,2, dependendo da espécie de madeira. Idealmente, o melhoramento genético deverá buscar selecionar madeiras que desenvolvam relações mais altas, como as madeiras A, B e G.

Os conteúdos totais de hemiceluloses presentes nas amostras de madeira foram calculados pela soma dos seguintes componentes: acetila, xilanas, arabinanas, galactanas, mananas e glicanas. O teor de ácido 4-O-metilglicurônico, que contabilizaria como hemiceluloses, não foi mensurado, mas estima-se que para madeira de *Eucalyptus sp* este valor seja cerca de 4,5%. A glicose proveniente das glicomananas foi estimada a partir do teor de manose, utilizando-se relações glicose/manose relatadas na literatura especializada. Valores da ordem de 0,5-1,0:1 tem sido relatado [37]. Uma relação glicose:manose de 2,1:1 foi determinada para madeira de *Eucalyptus regnans*. Nesse estudo, assumiu-se uma relação glicose:manose de 1:1. Para o cálculo do teor de celulose, foi utilizado o teor de glicose total, descontado do teor de glicose associado às glicomananas. Deve ser mencionado que o teor de amido da madeira não foi levado em consideração na análise de carboidratos. Estudos realizados com madeiras de *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus nitens* indicam teores de amido na madeira da ordem de 0,3-0,4 e 1,0-1,4% de amido, respectivamente [43].

O teor médio de celulose das dez madeiras avaliadas foi de 47,7% sendo o valor máximo de 52,1% e o mínimo de 38,2%, enquanto que o teor médio de hemiceluloses foi de 19,6%, sendo o valor máximo de 26,3% e o mínimo de 16,8%. Portanto, ocorreu considerável variação na composição de

carboidratos das dez madeiras estudadas. Em geral, madeiras com maior teor de celulose e menor teor de hemiceluloses, como a madeira C, por exemplo, deverão resultar em maior rendimento de polpação. A variação dos teores de celulose e de hemiceluloses é importante do ponto de vista de seleção da madeira, sendo desejável obter um balanço ideal de celulose e hemiceluloses para favorecer o rendimento e as propriedades de refino da polpa.

Quadro 4 - Densidade e constituição química das madeiras de *Eucalyptus sp*

Análises/Resultados	Madeiras									
	E	F	H	C	I	G	B	A	D	J
Densidade básica, kg/m ³	365	389	406	421	430	433	484	516	525	544
Teor de carboidratos, %	70,5	73,1	74,5	70,0	72,1	70,9	70,3	72,6	70,4	70,7
Teor de lignina insolúvel, %	24,2	21,3	20,4	24,2	22,3	22,8	23,2	21,0	23,8	23,6
Teor de lignina solúvel, %	3,7	3,8	3,7	3,8	3,3	4,0	4,6	5,1	3,8	3,0
Teor de lignina total, %	27,9	25,1	24,1	28,0	25,6	26,8	27,8	26,1	27,6	26,6
Teor de extrativos em A/T, %	1,65	1,82	1,38	2,03	2,32	2,33	1,87	1,28	1,98	2,66
Teor de oxidáveis total, %	29,5	26,9	25,5	30,0	27,9	29,1	29,7	27,4	29,6	29,3
Teor de extrativos DCM, %	0,32	0,28	0,07	0,18	0,22	0,29	0,29	0,28	0,17	0,26
Teor de pentosanas, %	15,5	15,1	14,9	14,5	13,5	14,1	18,5	18,6	14,2	16,1
Relação siringila / guaiacila	2,73	2,87	2,90	2,47	2,56	3,20	3,32	4,68	2,62	2,20
Teor de grupos acetila, %	2,8	2,6	2,9	2,7	2,6	2,6	3,6	3,3	2,5	2,7
Teor de arabinanas, %	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,5	0,2	0,1	0,1
Teor de xilanas, %	12,8	12,6	14,4	12,8	11,6	12,7	18,6	16,6	11,8	13,3
Teor de mananas, %	1,1	0,7	0,9	1,0	0,9	0,5	1,4	1,2	0,8	1,0
Teor de galactanas, %	0,9	1,1	0,5	0,9	0,8	1,3	0,8	1,3	0,8	1,0
Teor de glicanas, %	49,7	50,0	49,1	51,8	53,0	49,3	39,6	43,6	49,0	51,0
Teor de celulose, %	48,6	49,3	48,2	50,8	52,1	48,8	38,2	42,4	48,2	50,0
Teor de hemicelulose, %	18,9	17,8	19,7	18,5	17,0	17,8	26,3	23,8	16,8	19,1
Teor de carboidratos, %	67,5	67,1	67,9	69,3	69,1	66,6	64,5	66,2	65,0	69,1
Acetila/10 xiloses	6,7	6,4	6,2	6,4	6,9	6,3	5,9	6,1	6,6	6,1
Teor de metais: Ferro, ppm	37,7	23,1	24,8	27,9	22,5	33,5	34,0	29,2	26,5	30,0
Manganês, ppm	14,7	17,3	11,8	5,5	11,5	12,4	35,1	88,8	4,9	33,5
Cálcio, ppm	457	517	578	390	423	400	533	1037	281	365

O conteúdo de grupos acetila das madeiras apresentou forte correlação positiva com o conteúdo de xilanas ($y = 0,1683x + 0,7856$ e $R^2 = 0,965$). Para cada 10 unidades de xilose foi detectada de 5,9 a 6,9 unidades de grupos acetila. A madeira de *E.urophylla* (I) apresentou o menor grau de acetilação das xilanas (relação 5,9), enquanto o *E.nitens* apresentou o maior (relação 6,9). Esses valores estão de acordo com os reportados por vários autores [9] que descrevem nível de acetilação de 70% para xilanas da madeira de *Eucalyptus regnans*. Em geral, quanto maior o for este valor, maior será a perda de rendimento no processo, pois o grupo acetila é hidrolisado e solubilizado no cozimento.

Neste estudo não foi detectada tendência bem definida nos teores de metais em relação às características das madeiras analisadas, mesmo porque eles são muito influenciados pelas características do solo. Além disso, neste estudo, as madeiras foram amostradas com idades e em locais diferenciados. Dentre os metais importantes nas madeiras, destacam-se o manganês e ferro que reagem com os compostos oxigenados utilizados no branqueamento da polpa (oxigênio, peróxido de hidrogênio e ozônio), reduzindo a efetividade do processo e aumentando o consumo desses agentes alvejantes. Para atenuar esse impacto adverso, as modernas seqüências de branqueamento possuem um estágio ácido para solubilização e remoção desses metais ou um estágio de quelação para inativação dos mesmos. Os *Eucalyptus globulus* (B) e o *Eucalyptus urophylla* (J) apresentaram elevados teores de ferro e de manganês.

Polpação kraft

Os resultados dos cozimentos realizados para obter kappa 17-18 estão apresentados no Quadro 5. Em geral, observou-se existência de correlações entre densidade básica e composição química da madeira (teor de carboidratos totais) com o rendimento e a carga de álcali ativo aplicada nos cozimentos, conforme mostrado no Quadro 6.

Os rendimentos mais altos (> 53%) e as maiores viscosidades das polpas foram obtidos para as madeiras de densidades básicas mais baixas (365, 389, 406 e 430 kg/m³), confirmando dados de literatura. Mais ainda, essas madeiras tiveram consumos de álcali comparativamente menores que as de alta densidade, uma vez que os cozimentos foram mais brandos, com maior preservação dos carboidratos e viscosidade (Gráficos 1 e 2).

O consumo específico de madeira (metros cúbicos sólidos de madeira por tonelada de celulose seca) foi calculado com base nas densidades básicas e nos rendimentos de polpação. Os menores consumos específicos de madeira foram obtidos com madeiras mais densas (madeiras B, A, D, J e G). Normalmente, a madeira é comprada e transportada em termos de volume. Assim, quanto maior for a densidade básica, maior será o peso de celulose por carga de madeira e menor será o custo variável da produção de celulose. Essa vantagem, em projetos novos onde o ciclo de recuperação é dimensionado para maiores cargas de sólidos totais do licor residual, deve ser considerada nos programas de melhoramento florestal.

Quadro 5 - Cozimentos kraft das madeiras de *Eucalyptus sp*

Análises/Resultados	Polpas									
	E	F	H	C	I	G	B	A	D	J
Densidade básica, kg/m ³	365	389	406	421	430	433	484	516	525	544
Teor de carboidratos, %	70,5	73,1	74,5	70,0	72,1	70,9	70,3	72,6	70,4	70,7
Álcali ativo aplicado, %	15,3	14,8	15,7	16,8	15,7	15,4	18,5	16,0	16,3	16,9
Rendimento depurado, % (*)	53,2	55,6	53,3	51,0	53,5	52,8	48,9	52,6	52,0	51,6
Rejeitos, %	0,0	0,3	0,2	0,2	0,1	0,3	0,8	1,2	0,3	0,1
Rendimento total, %	53,2	55,9	53,5	51,2	53,6	53,1	49,7	53,8	52,3	51,7
Viscosidade, cP	68,9	79,0	85,3	51,2	71,5	70,3	56,7	66,3	50,4	59,1
Alvura, % ISO	33,7	29,5	30,9	31,9	30,9	29,2	34,6	28,7	32,8	30,6
Ácidos hexenurônicos, mmol/kg	46,1	41,7	45,0	44,00	41,1	39,9	46,2	36,9	41,1	49,6
Teor de metais: Ferro, ppm	25,2	28,1	24,8	27,8	21,6	29,3	104	50,2	69,2	27,4
Manganês, ppm	4,3	5,4	2,9	1,7	3,6	4,4	13,2	82,2	3,2	10,5
Cálcio, ppm	2665	2946	2703	1563	2334	2437	2266	3520	1965	2420
Álcali residual do licor (AA), g/l	3,5	3,9	3,9	5,4	4,8	4,4	6,0	5,0	5,1	5,3
pH do licor residual	11,5	11,4	11,8	12,0	11,8	11,6	11,8	11,3	11,9	12,1
Teor de sólidos totais no licor, %	13,3	13,0	13,4	14,1	13,3	13,6	14,8	13,6	13,7	14,3
Consumo de madeira, m ³ /tp	5,15	4,62	4,62	4,66	4,35	4,37	4,23	3,68	3,66	3,56
Sólidos totais no licor preto, t/tp	1,28	1,17	1,28	1,40	1,27	1,29	1,55	1,31	1,35	1,38

(*) O desvio padrão em torno da média de rendimentos dos oito cozimentos foi de 0,2 a 0,4.

A relação siringila/guaiacila, que variou de 2,20 a 4,68 nas madeiras, não apresentou influência no rendimento depurado do cozimento. Uma possível explicação poderia ser que as madeiras estudadas apresentaram variações expressivas em outros constituintes químicos, como os extrativos. O teor de pentosanas nas madeiras variou de 13,5 a 18,5%, sendo que as madeiras A, B, E, F e J apresentaram os mais elevados teores, todos acima de 15%, o que poderá constituir-se numa vantagem tecnológica, dependendo do produto final a ser produzido. Os teores de extrativos solúveis em álcool/tolueno nas madeiras variaram de 1,38 a 2,66%, indicando, para as polpas com teores mais elevados, maior potencial para formação de pitch. Neste estudo, não foi detectada correlação significativa entre os teores de extrativos em álcool/tolueno e em diclorometano.

Quadro 6 - Correlações de densidade básica e composição química da madeira com o rendimento depurado e a carga de álcali aplicada na polpação

Variável dependente	Densidade Básica			Carboidratos Totais		
	Equação	R ²	R	Equação	R ²	R
Rendimento depurado	Y=-0,0146X + 59,05	0,262	(-) 0,512	Y = 0,7507X - 1,2298	0,4019	0,634
Álcali ativo aplicado	Y=0,0096X +11,817	0,313	0,560	Y = -0,3597X + 41,861	0,2575	(-) 0,507

As polpas marrons apresentaram, em média, 43,2 mmol/kg de ácidos hexenurônicos, com variação de 39,9 a 49,6 mmol/kg. Esta variação foi bastante significativa, considerando-se que as

condições gerais de cozimento foram mantidas constantes, exceto pelo álcali ativo que variou na faixa de 14,8-18,5%. Variações no conteúdo de AcHex mostrou correlação muito fraca com a carga de álcali utilizada no cozimento ($R^2 = 0,1845$) e com o teor de pentosanas da madeira ($R^2 = 0,0037$). Na literatura especializada [4, 10, 11, 12, 13, 24, 28, 43] são reportados valores de AcHex na faixa de 0,5 a 70mmol/kg de polpa. Valor muito baixo é típico de polpas produzidas pelo processo soda e soda-AQ. Polpas de fibra curta produzidas por processos kraft modificados raramente apresentam valores menores que 30mmol/kg. Especificamente para polpa kraft de eucalipto, valores típicos são da ordem de 40-60mmol/kg de polpa [11, 12, 13, 24].

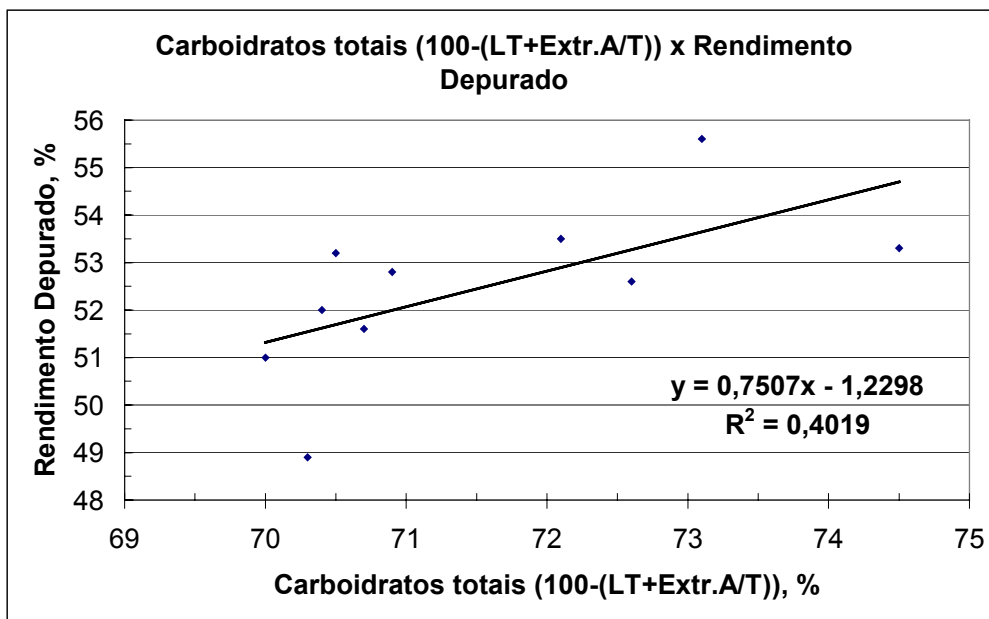


Gráfico 1. Correlação entre o teor de carboidratos totais e rendimento depurado.

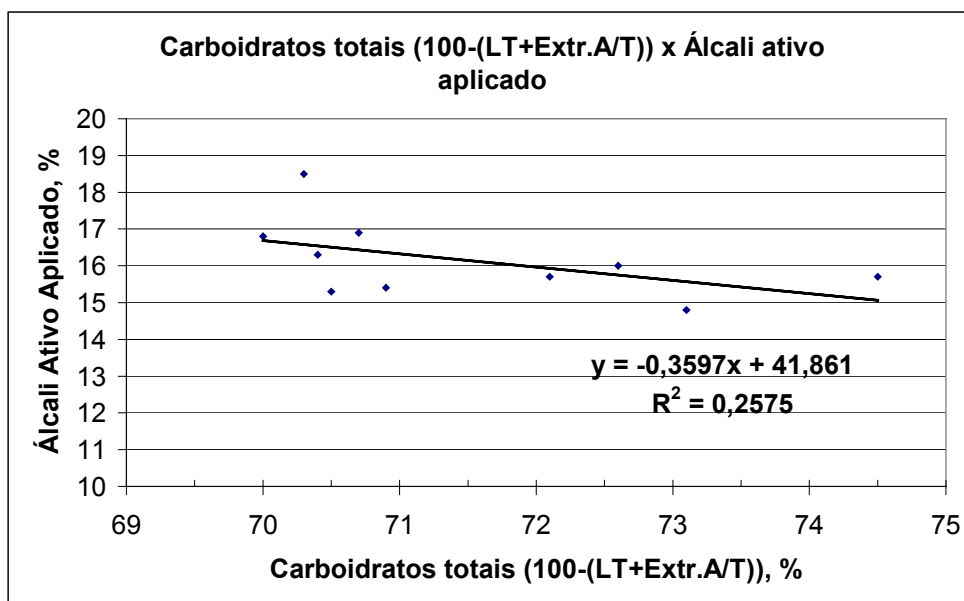


Gráfico 2 - Correlação entre teor de carboidratos totais e álcali ativo aplicado na polpação.

Na polpação, alguns compostos inorgânicos (metais) são removidos da madeira e outros são incorporados à polpa. No Quadro 5 pode ser observado que o teor de ferro não foi alterado na polpação. Os níveis de ferro observados nas polpas oriundas das madeiras A (*Eucalyptus globulus*), B (*Eucalyptus nitens*) e D (*Eucalyptus urograndis*) foram elevados, com potencial para causar impactos adversos no branqueamento e na qualidade da polpa branqueada. Da mesma forma, o teor de manganês da polpa de *Eucalyptus globulus* (A) foi comparativamente elevado, com potencial de impacto adverso na pré-deslignificação com oxigênio e no branqueamento da polpa. Conforme mencionado anteriormente, esses impactos adversos podem ser atenuados com a instalação de estágio ácido ou estágio de quebração no branqueamento.

No Quadro 5 estão indicados as concentrações de álcali ativo do licor residual de cozimento e seu respectivo pH. Normalmente, procura-se manter concentração de álcali residual dos licores acima de 5-12 gramas NaOH/L, correspondendo a pH acima de 12, para evitar re-precipitação de lignina na polpa [27]. Neste estudo, o pH médio observado foi relativamente baixo, atingindo 11,7, e valores de álcali residual menores que 5,0g NaOH/L. O baixo teor de álcali residual e o tempo prolongado utilizado nos cozimentos pode ter favorecido, segundo COLODETTE et al. [10], a re-precipitação de hemiceluloses (xilanas) em todas as polpas com impacto positivo no rendimento. Os cozimentos onde foram consumidas menores cargas alcalinas (E, F, G e H) resultaram em maiores rendimentos, confirmando dados de literatura [10].

Deslignificação com oxigênio

Na deslignificação com oxigênio o número kappa médio foi de 9,3, valor típico observado em instalações industriais que operam com polpas de eucalipto. Os resultados estão apresentados no Quadro 7, mostrando que a deslignificação com oxigênio foi mais seletiva, isto é, com menor perda de viscosidade por número kappa, para as polpas resultantes de cozimentos mais drásticos, típicos de madeiras mais densas. Por exemplo, a seletividade para as polpas das madeiras mais densas (A, D e J) situou-se na faixa de 2,6-4,3 enquanto que para as madeiras mais leves foi de 4,9-5,8.

Em relação ao teor de lignina insolúvel, não foram observados padrões definidos de variação da taxa de deslignificação, de aumento de alvura da polpa ou do teor de carbono orgânico no licor residual.

Quadro 7. Resultados da deslignificação com oxigênio

Análises/Resultados	Polpas									
	E	F	H	C	I	G	B	A	D	J
Densidade básica, kg/m ³	365	389	406	421	430	433	484	516	525	544
Teor de carboidratos, %	70,5	73,1	74,5	70,0	72,1	70,9	70,3	72,6	70,4	70,7
Kappa polpa marron	15,5	15,7	16,5	16,7	16,4	16,1	15,7	15,7	16,1	16,7
Kappa após PreO	10,1	8,8	9,3	9,4	9,1	9,6	9,8	8,7	9,4	9,1
Viscosidade (após PreO), mPa.s	39,9	45,0	43,6	36,0	42,3	39,8	33,3	35,9	34,5	33,2
Taxa de deslignificação, %	34,8	43,9	43,7	44,0	44,4	40,7	37,9	44,8	41,7	45,5
Seletividade (viscos. / kappa)	5,4	4,9	5,8	2,1	4,0	4,7	3,9	4,3	2,6	3,4
Alvura, %ISO	49,1	49,0	50,7	51,3	50,7	47,8	48,6	43,3	48,4	49,6
Δ(Alvura), %ISO	15,4	19,5	19,8	19,4	19,8	18,6	14,0	14,6	15,6	19,0
Rendimento, %	98,2	97,9	97,9	98,5	98,7	98,1	98,3	98,1	98,0	98,4
COT, kgO ₂ /tp	13,9	14,6	16,9	14,9	14,4	14,3	15,8	16,0	14,5	13,5

(*) maior viscosidade/kappa significa menor seletividade.

Branqueamento ECF

Os resultados de branqueamento estão mostrados no Quadro 8. O rendimento total da transformação da madeira em polpa branqueada foi calculado com base nos rendimentos parciais da polpação, da deslignificação com oxigênio e do branqueamento, demonstrando uma redução marginal média de 2,0% na deslignificação com oxigênio e branqueamento, sem, entretanto, alterar a classificação das madeiras estabelecida na polpação.

Em geral, com exceção da polpa de *Eucalyptus globulus*, as polpas consumiram 32-38 kg ClO₂/tonelada de polpa. O desempenho da polpa de *Eucalyptus globulus* foi bem inferior ao das demais polpas. Além do maior consumo ClO₂/t para obtenção de 90% ISO (48kg ClO₂/t), a alvura da polpa de *E.globulus* foi sempre inferior nos estágios de branqueamento e a reversão de alvura foi bem superior (2,8% ISO) à das demais polpas (1,6-2,2% ISO). Este fraco desempenho de alvura pode ser creditado aos elevados teores de metais, notadamente manganês e ferro, presentes na madeira e na polpa

marrom desta espécie, mesmo tendo apresentado teor de ácido hexenurônico inferior ao da média observada para as outras espécies.

Amostras do filtrado das etapas de branqueamento foram coletadas e misturadas para representar descargas normais de efluente de uma planta de branqueamento. Em geral, não foram notadas grandes diferenças nas cargas de AOX, DQO, COR, COT e pH. No entanto, o residual de organoclorados na polpa de *Eucalyptus globulus* foi comparativamente menor que nas demais polpas. Não foi encontrada uma explicação lógica para este fato, pois a alta carga de cloro ativo utilizada no branqueamento seria indicativo de alto residual desses compostos na polpa branqueada do *E. globulus*.

Quadro 8 - Resultados do branqueamento D-PO-D1 (Alvura final de 90% ISO)

Análises/Resultados	Polpas									
	E	F	H	C	I	G	B	A	D	J
Densidade básica, kg/m ³	365	389	406	421	430	433	484	516	525	544
Teor de carboidratos, %	70,5	73,1	74,5	70,0	72,1	70,9	70,3	72,6	70,4	70,7
Lignina total, %	27,9	25,1	24,1	28,0	25,6	26,8	27,8	26,1	27,6	26,6
Kappa após PO	2,01	2,20	2,70	2,22	2,60	2,16	2,79	2,58	2,30	3,00
Alvura após PreO, %	49,1	49,0	50,7	51,3	50,7	47,8	48,6	43,3	48,4	49,6
Alvura após Do, % ISO	76,5	73,6	76,5	75,6	78,2	74,3	76,6	72,5	73,9	74,9
Alvura após PO, % ISO	86,8	87,6	87,8	86,5	88,8	85,9	85,6	78,7	87,2	86,9
Alvura após D Final, % ISO	90,0	90,0	90,1	90,1	90,1	90,0	90,0	90,0	90,2	90,2
Reversão de alvura, % ISO	1,7	1,5	2,0	1,6	1,8	2,4	1,6	2,8	2,1	2,2
Número de pós-cor (NPC)	0,15	0,10	0,25	0,15	0,30	0,35	0,25	0,15	0,15	0,25
Viscosidade após PO, mPa.s	19,6	24,2	25,8	18,2	22,9	18,7	21,5	18,9	20,4	21,8
Viscosidade final, mPa.s	20,3	23,7	22,3	17,4	20,6	17,8	22,1	19,3	19,4	20,5
Redução viscosidade, mPa.s	19,6	21,3	21,3	18,6	21,7	22,0	11,2	16,6	15,1	12,7
Consumo de ClO ₂ , kg/t	35,7	32,1	33,6	33,9	33,6	37,9	35,4	47,8	35,1	36,8
OX em polpa, g/t	331	227	166	262	246	204	286	181	295	237
AOX no efluente, kg/t	0,45	0,53	0,50	0,41	0,48	0,47	0,50	0,57	0,46	0,50
DQO no efluente, kg/t	22,9	23,1	24,2	22,5	22,2	23,3	23,4	23,1	20,6	22,5
COT no efluente, kg/t	12,2	11,9	11,0	11,8	10,8	12,3	12,7	12,5	11,1	11,1
COR no efluente, kgP/t	9,8	10,5	9,3	10,2	9,9	10,9	9,7	13,8	8,9	9,6
Rendimento branqueamento, %	96,7	96,6	96,9	97,0	96,7	96,7	96,7	97,1	97,3	96,3
Rendimento total, %	50,5	52,6	50,6	48,7	51,1	50,1	46,5	50,1	49,6	48,9
Consumo madeira (m ³ /tp)	6,03	5,43	5,41	5,41	5,06	5,12	4,94	4,30	4,27	4,17

Refinabilidade e propriedades da polpa

No Gráfico 3 é mostrado o desenvolvimento do refino com o número de rotações do moinho PFI. A análise deste gráfico demonstra que as polpas das madeiras mais densas (A, B, D e J) apresentaram comportamentos diferenciados durante o refino. Dentre estas polpas, as das madeiras A e B (*E. globulus* e *nitens*) apresentaram os menores consumos de energia de refino, enquanto as outras duas (*E. urograndis* e *urophylla*), tiveram os maiores consumos de energia.

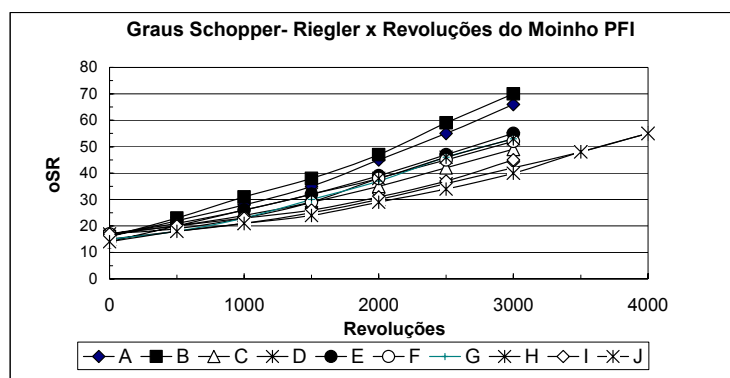


Gráfico 3 - Desenvolvimento do refino com o número de rotações do moinho PFI.

Normalmente, as fibras de menor espessura de parede são mais fáceis de serem refinadas e consomem menos energia para atingir o nível desejado de refino (30-40°SR). No entanto, os resultados do Quadro 2 mostraram pequena variação em torno da média dos diâmetros de fibra (4,79µm), não permitindo uma confirmação desta expectativa.

As principais propriedades de físico-mecânicas das polpas estão apresentadas no Quadro 9. As propriedades foram comparadas nos níveis zero de refino, típico de papeis absorventes, e a 30°SR, com resistência à tração na faixa de 60-70 Nm/g, usado na fabricação de papeis de escrita e impressão.

A gramatura e a espessura são propriedades importantes na distribuição e comércio de papeis. A associação da gramatura e espessura da folha resulta na Densidade Básica Aparente (DEA) e no Volume Específico Aparente (VEA). Papeis densos têm maior resistência à tração e menor opacidade. Normalmente, problema de opacidade é atenuado pelo uso de cargas minerais adicionadas na sua fabricação. Por outro lado, conforme indicado no Quadro 9, as polpas sem refino, que resultaram em papeis menos densos (maior volume específico) são indicadas para o segmento de papeis absorventes (madeiras A, D e J).

Em geral, observou-se existência de correlações mais fortes com a densidade básica que com a composição química da madeira (teor de carboidratos totais), em relação às principais propriedades de resistência mecânica e óticas das polpas, como pode ser verificado no Quadro 10.

Quadro 9 - Propriedades de resistências mecânicas e óticas das polpas com e sem refino (30°SR)

Polpa	DEA		VEA		Energia Refino, Wh	IT		IR		MOE		Lisura		OPAC		CEL	
	Kg/m ³		Cm ³ /g			Nm/g	mN.m ² /g		MN.m/kg		S/50cc		% ISO		Kg/m ²		
	s/r	c/r	s/r	c/r	30°SR		s/r	c/r	s/r	c/r	s/r	c/r	s/r	c/r	s/r	c/r	s/r
E	615	825	1,63	1,20	16,2	35,5	86,0	8,1	9,8	4,36	7,3	86,2	22,3	81,7	72,0	47,1	27,3
F	546	760	1,84	1,32	20,0	27,1	66,0	7,2	10,5	3,90	6,8	86,1	21,7	76,6	69,0	43,9	29,3
H	606	800	1,64	1,25	18,0	32,4	70,0	7,0	11,0	4,36	6,6	87,8	23,2	78,0	69,0	41,5	27,0
C	533	775	1,88	1,27	20,0	30,0	80,0	6,0	10,3	4,05	6,8	86,8	22,3	80,7	71,5	46,0	26,8
I	518	740	1,93	1,37	23,7	28,8	82,0	6,0	11,7	4,05	7,0	86,5	21,5	80,0	73,0	46,1	29,8
G	521	740	1,92	1,35	21,0	31,1	78,0	5,5	10,5	4,34	7,1	87,1	22,3	78,9	72,0	43,8	28,3
B	665	820	1,50	1,23	11,2	39,8	74,0	6,4	7,2	4,54	6,8	87,8	24,4	80,1	71,5	44,8	29,3
A	525	740	1,90	1,35	15,0	31,2	69,0	4,7	8,5	4,17	6,5	86,3	21,5	77,7	71,0	42,6	28,0
D	430	710	2,33	1,39	27,5	22,4	74,0	3,4	10,3	3,55	6,9	87,8	23,3	78,9	70,3	42,3	28,5
J	461	675	2,18	1,50	26,2	26,7	64,0	4,6	10,7	4,07	6,4	87,6	27,5	78,8	73,5	43,6	31,8

s/r = sem refino, c/r = polpa com refino (valores a 30°SR), DEA = densidade específica aparente, VEA = volume específico aparente, IT = índice de tração, IR = índice de rasgo, MOE = módulo de elasticidade, OPAC = opacidade, CEL = coeficiente de espalhamento de luz.

Em geral, as polpas oriundas de madeiras mais leves desenvolveram mais rapidamente a resistência à tração e ao rasgo, sendo indicadas para papeis de escrita. As madeiras mais densas podem ser direcionadas para o segmento de papeis absorventes (não-refinados).

No segmento de papeis de escrita e impressão, os atributos de qualidade são a resistência à tração e a opacidade. No entanto, o desenvolvimento de um desses atributos impacta negativamente no outro. Segundo CARPIM et al. [8], os aspectos anatômicos das madeiras são considerados os mais importantes e diretamente relacionados com as propriedades óticas e de resistência. Em geral, polpas de fibras de paredes espessas, mais rígidas, resultam em papeis de alto volume específico e com maior número de interfaces para refletir a luz incidente, tornando-o mais opaco. Os autores enfatizam, ainda, que o número de fibras por grama de polpa eleva o coeficiente de espalhamento de luz e, logo, a opacidade do papel, uma vez que favorece maior número de interfaces fibra-ar, dificultando a passagem da luz.

Quadro 10 - Correlações de densidade básica e composição química da madeira com as propriedades físico-mecânicas das polpas

Variável Dependente	Densidade Básica			Carboidratos Totais		
	Equação	R ²	R	Equação	R ²	R
Energia de refino	Y=0,0244X + 8,8804	0,089	0,30	Y=-0,4353X + 51,006	0,017	(-) 0,13
Índice de tração	Y= -0,0591X + 100,98	0,259	(-) 0,51	Y= -2,0435X + 220,43	0,180	(-) 0,42
Índice de rasgo	Y= -0,0055X + 12,541	0,065	(-) 0,26	Y= 0,2417X - 7,2075	0,075	0,27
Módulo elasticidade	Y= -0,0027X + 8,0407	0,372	(-) 0,61	Y= -0,064X + 11,397	0,121	(-) 0,35
Opacidade	Y= 0,0086X + 67,447	0,111	0,33	Y= -0,6297X + 116,36	0,347	(-) 0,59
Lisura	Y= 0,0184X + 14,742	0,335	0,58	Y=-0,3932X + 51,166	0,089	(-) 0,30
Reflectância	Y= 0,0136X + 22,492	0,290	0,54	Y= -0,1444X + 38,959	0,019	(-) 0,14

Como resultado do refino, as fibras colapsam mais facilmente na consolidação da folha e reduzem as interfaces fibras-ar que refletem e espalham a luz (CEL). Fibras de paredes mais espessas são mais resistentes ao colapso, resultando em papeis mais abertos e opacos (madeiras J e I). Não foram notadas influências da composição química da madeira na opacidade das polpas.

As propriedades superficiais normalmente medidas em papeis são a lisura e a rugosidade. Ambas têm o potencial de indicar a existência de irregularidades na consolidação da superfície do papel, podendo afetar o uso final. A lisura está associada com ausência de maciez do papel que corresponde à sensação captada pelo sentido do tato. Os resultados de medições de lisura (Quadro 9) mostram que as madeiras mais densas (A, D e J), com fibras mais rígidas, resultaram em papeis comparativamente mais rugosos.

As propriedades de permeância referem-se à habilidade de um gás ou vapor d'água passar através da folha de papel, em condições de diferença de pressão. As comparações das propriedades de permeância e higroscopicidade das polpas estão apresentadas no Quadro 11. Não foram notadas diferenças na resistência à passagem de ar nos papeis feitos com polpa sem refino. No entanto, polpas refinadas oriundas de madeiras com alto número de fibras por grama normalmente formam papel mais fechados e com alta resistência à passagem do ar, o que foi confirmado para as polpas B (*E.nitens*), C (*E.urograndis*) e J (*E.urophylla*), mas não se expressou na polpa E (*E.grandis*) que possuía $33,78 \times 10^6$ fibras/grama.

No segmento de papeis não-refinados, ou fracamente refinados, destacam-se os produtos de papel higiênico, papel toalha, guardanapos, lenços, fraldas, etc. Os atributos de qualidade desses papeis estão relacionados com a sensação de maciez (propriedade superficial) e com a sua habilidade de absorção e retenção de líquidos. Na sua fabricação, são usadas matérias-primas que resultam em papeis de baixa densidade e alto volume específico, com potencial para absorver e reter grande quantidade de líquido. Alguns autores [8, 17] indicam que fibras mais rígidas, com maior espessura de parede, favorecem a formação de papeis de maior volume específico. Experiência de fábrica mostra que uma polpação mais drástica, com produção de polpa marrom de número kappa comparativamente mais baixo, proporciona polpas com baixo teor de hemiceluloses e, dessa forma, com estrutura mais aberta e menor densidade de ligações químicas inter e intrafibrilares, favorecendo a retenção de água. Em geral, dois testes são realizados para medir esse atributo do papel, o Índice de Retenção de Água (WRV – Water Retention Value) e a Capilaridade Klemm. Os resultados constantes do Quadro 11 mostram que as polpas oriundas das madeiras de menor densidade (E, H e I) apresentaram índices de retenção de água maiores que as oriundas de madeiras de densidades mais altas. Com o refino, a estrutura do papel torna-se mais densa, reduzindo a densidade de capilares e o diâmetro aparente médio dos capilares no papel. Conseqüentemente, a mobilidade ascendente do filme de água é reduzida, diminuindo a capilaridade Klemm. Nas polpas de madeiras mais densas, com fibras mais rígidas, o efeito do refino foi mais brando.

Quadro 11- Propriedades de permeância e de higroscopicidade das polpas (30°SR)

Polpas	DEA		VEA		Energia Refino, Wh	RPA		WRV		Cap.Klemm	
	Kg/m ³		cm ³ /g			30° SR	S/100cc		%		cm
	s/r	c/r	s/r	c/r	s/r		c/r	s/r	s/r	s/r	c/r
E	615	825	1,63	1,20	16,2	0,7	13,0	172,4	---	9,5	4,5
F	546	760	1,84	1,32	20,0	4,2	42,0	197,2	---	5,7	2,7
H	606	800	1,64	1,25	18,0	1,4	30,0	177,6	---	7,8	3,0
C	533	775	1,88	1,27	20,0	0,4	13,0	153,3	---	11,7	3,5
I	518	740	1,93	1,37	23,7	0,2	0,2	211,1	---	6,1	2,7
G	521	740	1,92	1,35	21,0	1,0	18,0	196,7	---	8,9	3,5
B	665	820	1,50	1,23	11,2	1,0	22,0	187,9	---	9,5	3,7
A	525	740	1,90	1,35	15,0	1,6	34,0	209,6	---	7,4	2,7
D	430	710	2,33	1,39	27,5	1,1	22,0	196,9	---	8,6	3,2
J	461	675	2,18	1,50	26,2	0,4	8,0	172,8	---	12,1	4,5

4. CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo mostraram que, em geral, a densidade básica das madeiras de eucalipto apresentou correlação mais significativa que a constituição química com as características anatômicas das madeiras, com o rendimento gravimétrico da polpação kraft e com a qualidade das polpas. As madeiras mais leves proporcionaram rendimentos mais altos. No entanto, o consumo específico de madeira foi menor para as madeiras mais densas, apesar destas requererem polpação mais drástica para um mesmo nível de deslignificação. As madeiras de eucalipto mais leves, pelas suas características anatômicas, podem ser direcionadas para a fabricação de papeis de escrita e impressão enquanto as madeira mais densas para o segmento de papeis absorventes

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1-ALMEIDA, J.M.; SILVA, D.J. Inclusão de um novo e importante parâmetro potencial de seleção de eucalipto para produção de polpa Kraft, IUFRO, 1997, v.3, p.69.
- 2-BARRICHELO, L. E . G.; BRITO, J.O.; BAZANELLI, A . V. Densidade básica e características das fibras de madeira de *Eucalyptus grandis*. In: CONGRESSO ANUAL DA ABTCP, 3. Anais ... São Paulo: ABTCP, 1983. P. 113– 125.
- 3-BROWNING, B. L., Methods of wood chemistry, vol.II, New York: Wiley-Interscience, 1967, p387-414.
- 4-BUCHERT, J.; TELEMAN, A.; HARJUNPAA, V.; TENKANEN, M.; VIKARI, L.; VUORINEN, T. Effect of cooking and bleaching on the structure of xylan in conventional pine kraft pulp. Tappi Journal 78(11): 125-130 (1995).
- 5-CARNEIRO, C.J.G.; AMARAL, C.A.S.S. Caracterização da variabilidade longitudinal da árvore visando a produção de celulose. In: 30° CONGRESSO ANUAL DA ABTCP, 03-07 de novembro de 1997, São Paulo, p.271
- 6-CARPIM, M.A .; SOUZA, V.R.; BARRICHELO, L.E.G. Comparação das características da Madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* de diferentes procedências. In: XVIII Congresso Anual da ABTCP, São Paulo, SP, 1985, p.75-67.
- 7-CARPIM, M.A .; BARRICHELO, L.E.G. Variabilidade da Densidade de Madeira de Eucalyptus sp. III Congresso Latino-Americano de Celulose e Papel; São Paulo/SP. 1983.
- 8-CARPIM, M.A.; BARRICHELO, L.E.G.; CLAUDIO-DA-SILVA JR.,E.; DIAS, R.L.V. A influência do número de fibras por grama nas propriedades óticas do papel. In: 20° CONGRESSO ANUAL DA ABTCP, outubro de 1987, São Paulo, SP, p.183.
- 9-CARVALHO, A.G.M. Relação siringila/guaiacila na lignina e suas implicações. Monografia de pós-graduação ato sensu. Curso de Tecnologia de Celulose e Papel. UFV. Novembro/2002. 40 pp.
- 10-COLODETTE, J. L.; GOMIDE, J. L.; ROBLES, Y. A. M.; ALMEIDA, J. M.; MEHLMAN, S. K.; A. S.; ARGYROPOULOS, D. S.; deBRITO A. G. H. Effect of pulping processes on bleachability with ECF, Z-ECF and TCF sequences. Appita Journal. Carlton Victoria, Australia: 52, n.5, p.368 - 374, 1999.
- 11-COLODETTE, J. L.; GOMIDE, J. L.; GLEYSYS, K.; KOGAN, J.; JAASKELAINEN, A. S.; ARGYROPOULOS, D. Yield and bleachability of hardwood and softwood kraft/polysulphide pulps. Pulp & Paper Canada. v.102, n.9, p.269 – 272. 2001.
- 12-COSTA, M. M.; COLODETTE, J. L. Efeito da composição química da polpa Kraft-O2 na sua branqueabilidade. O Papel. , p.93 - 103, 2002.

- 13-COSTA, M. M.; MOUNTEER, A. H.; COLODETTE, J. L. Ácidos hexenurônicos; Parte I: origem, quantificação, reatividade e comportamento durante a polpação kraft. O Papel, maio, 2001, p.75-85.
 - 14-DA SILVA, D. J. Impacto da qualidade da madeira na deslignificação, no branqueamento e nas propriedades físico-mecânicas da polpa de eucalipto. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Novembro, 1996.
 - 15-DE ALENCAR, G.S.B.; BARRICHELLO, L. E. G.; SILVA JR., F. G. Qualidade da madeira de híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* e seleção precoce. In: 34^o. Congresso Anual da ABTCP, São Paulo, SP, 2001.
 - 16-DEMUNER, B.J.; VIANA DORIA, E.L.; CLÁUDIO-DA-SILVA, JR. E.; MANFREDI, V. As propriedades do Papel e as características das fibras de eucalipto. In: 24^o. Congresso Anual da ABTCP – São Paulo/SP, Brasil. 1991.
 - 17-DIAS, V.R.L.; CLAUDIO-DA-SILVA, JR. E. Pulp and paper properties as influenced by wood density – same species and age of *Eucalyptus*. 1991, International Paper Physics Conference, UK, 1991.
 - 18-DIAS, V.R.L.; CLAUDIO-DA-SILVA, JR.E. A influência da densidade básica da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis* em suas características químicas e propriedades de polpação e do papel. In: XVIII Congresso Anual da ABTCP, 1985, São Paulo, SP, p.31-56.
 - 19-FERREIRA., M. Variação da densidade básica da madeira de povoamentos comerciais de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex-Maiden nas idades de 11, 12, 13, 14 e 16 anos. *IPEF*, 4, 65-89, 1972.
 - 20-FOELKEL, C. E. B; MORA, E.; MENOCELLI, S. Densidade básica: sua verdadeira utilidade como índice de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose. In: 6^o CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 22 a 27 de setembro, 1990, Campos do Jordão. Anais... Campos do Jordão 1990. p. 719- 728.
 - 21-FONSECA, S.M.; OLIVEIRA, R.C.; SILVEIRA, P.N. Seleção da árvore industrial – procedimentos, riscos, custos e benefícios. *Revista Árvore*, v.20, n.1, 1996, p.69-85.
 - 22-GARLET, N. V. Influência do espaçamento das árvores de *Eucalyptus grandis* na qualidade da madeira para a produção de polpa celulósica kraft. Tese de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG., 1995, 118p.
 - 23-GOLDSCHMID, O. Ultraviolet spectra, In: Lignins: occurrence, formation, structure and reactions, K. V. Sarkanen, & C. H. Ludwig. New York, John Wiley & Sons. 1971. p.241-266.
 - 24-GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C.; GIRARD, R.; ARGYROPOULOS, D. Fatores que afetam a branqueabilidade de polpas kraft de *Eucalyptus* 2: influência de parâmetros da polpação. O papel. São Paulo, p.61 - 70, 2000.
 - 25-GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B.J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: Método Klason modificado. *O Papel* 47(8):36-38, 1986.
 - 26-GOMIDE, J.L. Polpa de celulose – química dos processos alcalinos de polpação. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1979.
 - 27-GRACE et al. Ed. Kraft liquors. In: Pulp and paper manufacture – Volume 5: alkaline pulping. Atlanta. Tappi, 1989.
 - 28-JIANG, Z; VAN LIEROP, B.V.; BERRY, R. Hexenuronic acid groups in pulping and bleaching chemistry. *Tappi J.*, 83 (1): 167 – 175, 2000.
 - 29-LEVIN, M; GOLDSTWEIN, I.S. Wood structure and composition. New York, Marcel Dekker, 1991, p488.
 - 30-LIN, S.Y.; DENCE, C.W. Methods in Lignin Chemistry. Springer-Verlag. Berlin.1992. 578 p.
 - 31-MANFREDI, V.; BARRICHELLO, L.E.G. Variação do rendimento em celulose sulfato ao longo do tronco do eucalipto. In: XVIII Congresso Anual da ABTCP, São Paulo, SP, 1985, p5-29.
 - 32-PEREIRA, D. E. D.; DEMUNER, B. J.; BERTOLUCCI, F. L. G.; PASQUALI, S. M. A relação guaiacila/siringila como critério de seleção de árvores e sua importância no processo de deslignificação. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE DESLIGNIFICAÇÃO, 1. Anais Vitória: ABTCP, 1994. p. 21–31.
 - 33-ROCHA, M.G.B.; FONSECA, M.J.O.; CAMPOS, W.O.; ZVINAKEVICIUS, C. Estratégia para melhoramento das características tecnológicas de *Eucalyptus sp.* na Cenibra. In: WORKSHOP SOBRE QUALIDADE DO PRODUTTO FINAL: Estratégias para melhoramento das características tecnológicas de *Eucalyptus sp.* Belo Horizonte: SIF (19-20/04/95m).
 - 34-SALVADOR, E.; COLODETTE, J.L.; GOMIDE, J.L.; OLIVEIRA, R. C. Efeito da deslignificação com oxigênio nas propriedades físico-mecânicas de polpas kraft. O Papel, Fevereiro, 2001, p75-95.
 - 35-SHIMOYAMA, V. R. S.; BARRICHELO, L. E. G. Influência de características anatômicas e químicas sobre a densidade básica de madeira de *Eucalyptus sp.* In: CONGRESSO ANUAL DA ABTCP, 24. Anais. São Paulo: ABTCP, 1991. p. 23–36.
 - 36-SHIMOYAMA, V.R. de S.; BARRICHELO, L.E.G. Densidade Básica da Madeira, Melhoramento e Manejo Florestal. *IPEF*, Série Técnica, Vol. 6; no. 20; p.1-22.
-

- 37-SJÖSTROM, E. Wood chemistry, fundamentals and applications, New York, Academic Press, 1981, p293.
- 38-SOLAR, R.; KACIK, F.; MELCER, I. 1987. Simple semimicro method for the determination of o-acetyl group in wood and related materials. Nordic Pulp & Paper Research Journal. 4:139-141.
- 39-TAPPI TECHNICAL DIVISIONS AND COMMITTEES, TAPPI Test Methods, TAPPI Press, Atlanta, 1998.
- 40-TOMAZELLO FILHO, M. Estrutura anatômica de oito espécies de eucalipto cultivadas no Brasil. IPEF, Piracicaba, 1985, p.25-31.
- 41-TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus saligna* e *Eucalyotus grandis*. IPEF, Piracicaba, 1985, p.37-45.
- 42-VUORINEN, T.; TELEMAN, A.; FAGERSTRÖM, P.; BUCHERT, J.; TENKANEN, M. Selective hydrolysis of hexenuronic acid groups and its application in ECF and TCF bleaching of kraft pulps. In: 1996 International Pulp Bleaching Conference, Washington, USA, 1996, p43-51.
- 43-WALLIS, A. F. A., WEARNE, R.H.; WRIGHT, P. J. Chemical analysis of polysaccharides in plantation eucalypt woods and pulps. *Appita J.*, 49 (4) 258-262, 1996.
- 44-WALLIS, A. F. A.; WEARNE, R. H; WRIGHT, P.J. Analytical characteristics of plantation eucalypt woods relating to kraft pulp yields, *Appita J* 49 (1996) 427-432, 258 (1996).
-