

DEFINIÇÃO DE CRITÉRIOS PARA A ESCOLHA DE PASTAS CELULÓSICAS BRANQUEADAS DE EUCALIPTOS NA FABRICAÇÃO DE PAPÉIS DE IMPRESSÃO E ESCRITA

Edison da Silva Campos
Marco Aurélio Luiz Martins
Celso Edmundo Bochetti Foelkel
Sonia Maria Bitencourt Frizzo

RIOCELL – GUAÍBA – RS

RESUMO - Este estudo procura analisar as características de algumas pastas celulósicas branqueadas de eucaliptos disponíveis no mercado e seu impacto nas propriedades dos papéis utilizados para impressão e escrita. Este trabalho buscou também estudar formas para reduzir o número de testes laboratoriais que hoje são definidos como necessários para a caracterização destes recursos fibrosos.

Foram analisadas 13 pastas celulósicas de mercado, brasileiras e internacionais, aplicando-se testes de viscosidade intrínseca, solubilidade em solução de NaOH_{5%} (S₅), "coarseness", número de fibras/g, comprimento médio das fibras, teor de finos pelo vaso dinâmico de drenagem e grau Schopper Riegler (°SR), antes das pastas serem refinadas. Foram também aplicados testes para determinar o índice de tração, alongamento, índice de arrebentamento, índice de rasgo, volume específico, resistência ao ar, opacidade, alvura e ascensão capilar Klemm para cada uma das pastas antes de refinar e para os níveis de refino de 25 ° SR, 30 °SR, 40 °SR e 55 °SR.

As celuloses de eucalipto brasileiras apresentaram uma maior drenabilidade inicial (pasta ainda não refinada), requerendo um menor número de revoluções do refinador PFI para atingir o mesmo grau de refino em relação às polpas internacionais estudadas. Os valores médios iniciais do índice de tração, do índice de arrebentamento, do índice de rasgo e alongamento apresentados pelas celuloses brasileiras superaram significativamente os valores obtidos para as celuloses internacionais, mudando porém este comportamento já a partir do nível de 25 °SR. Nas faixas de S₅ e viscosidade intrínseca apresentadas pelas polpas brasileiras e internacionais, não se evidenciou sua correlação com as propriedades associadas ao grau de interligação entre as fibras, tais como índice de tração, índice de rasgo e índice de arrebentamento, para cada grupo de polpas analisadas.

Os resultados obtidos permitem definir o critério de ensaio a 30 °SR, devido ao maior número de correlações entre as várias propriedades avaliadas antes e após a refinação. Neste nível, as polpas internacionais apresentaram, significativamente, maiores valores médios de índice de tração e índice de rasgo do que as brasileiras, enquanto as polpas brasileiras apresentaram maior valor médio de opacidade e menor consumo médio de energia de refino.

Em termos de qualificação laboratorial, sugere-se que as análises de índice de tração e rasgo, e opacidade sejam definidas como prioritárias para comparação e caracterização deste tipo de pastas celulósicas, quando o objetivo final é a produção de papéis de impressão e escrita.

Palavras-chaves: drenabilidade, eucalipto, opacidade, papéis impressão e escrita, pastas celulósicas branqueadas, rasgo, refinação, tração.

1 INTRODUÇÃO

Para ROSSI FILHO (1997), o papel deve reunir uma série de propriedades que garantam sua imprimibilidade e seu desempenho durante os processos de impressão e acabamento, bem como atendam aos requisitos de uso final. De maneira abrangente, as propriedades, relacionadas à imprimibilidade, podem ser classificadas em: propriedades de aparência (alvura, brilho,

Trabalho apresentado no 31º Congresso Anual de Celulose e Papel da ABTCP, realizado em São Paulo – SP – Brasil, de 19 a 23 de outubro de 1998.

opacidade), propriedades químicas (pH, ausência de produtos químicos ativos), propriedades estruturais (gramatura, espessura, volume específico, absorção, porosidade, compressibilidade, direção de fibras, planura, estabilidade dimensional), propriedades mecânicas (resistência à tração, resistência ao estouro, resistência ao rasgo, resistência à dobras duplas, teor de umidade) e propriedades superficiais (lisura, resistência ao arrancamento).

Segundo LEVLIN (1975), para se saber quais as propriedades realmente são importantes em uma pasta celulósica, com respeito ao papel que foi produzido a partir desta, deveriam as condições de simulação da fabricação do papel corresponder tão rigorosamente quanto possível às condições reais de produção. Isto é uma tarefa difícil, em parte porque o papel é feito em condições diferentes, em diversos sistemas de produção, e em parte devido às dificuldades na simulação da produção de papel em escala laboratorial.

ANNIKKI et al. (1990), reforçam esta idéia afirmando que em termos de produção da folha, as principais diferenças entre as folhas feitas em laboratório e a produção de papel em larga escala, estão na formação na mesa plana, prensagem a úmido e secagem. No laboratório, a folha é formada a partir de uma suspensão muito diluída, usando procedimento de desaguamento lento e de baixa pressão, seguido por uma secagem lenta. Isto significa que a estrutura da folha feita em laboratório será bastante diferente da produzida por uma máquina de papel, não levando em conta ainda a calandragem em máquina a qual fornece características superficiais à folha de papel diferentes das que são obtidas normalmente em laboratório.

TASMAN (1992), afirma que devido às complexas interações entre as variáveis envolvidas na produção de folhas manuais, o problema de relacionar propriedades destas folhas às características da pasta celulósica é uma grande dificuldade. Entretanto, para SETH (1991), a resistência intrínseca das fibras, o "coarseness" e o comprimento médio das fibras são identificadas como importantes propriedades físicas das fibras que compõem a pasta celulósica, tanto para o papel fabricado em escala laboratorial como em uma máquina de papel. Conforme SCOTT & TROSSET (1989), a resistência intrínseca das fibras contribui para todas as propriedades mecânicas da folha de papel produzida a partir destas fibras.

Para YOUNG (1980), a resistência intrínseca da fibra é usualmente medida pelo teste de tensão "zero-span" e, muitas vezes, de forma indireta, pela viscosidade da fibra dissolvida. D'ALMEIDA (1986) intensifica esta afirmação, dizendo que o valor da viscosidade de uma pasta celulósica, por ser uma medida indireta do grau de polimerização médio das moléculas de celulose que constituem as fibras desta pasta, pode ser também um indicativo da resistência intrínseca das fibras, dentro de certos limites

Segundo HORTAL (1988), o "coarseness" de uma fibra, definido como a massa por unidade de comprimento, é uma propriedade fundamental que afeta algumas das propriedades de aparência, estruturais, mecânicas e superficiais do papel. Segundo KEREKES & SCHELL (1995), o "coarseness" exerce também sua influência na uniformidade da folha através do número de contatos por fibras, tamanho dos flocos e mobilidade das fibras durante a formação. Para SETH (1991), uma alteração no valor de "coarseness" influencia significativamente todas as propriedades da pasta celulósica tais como drenagem, resistência a úmido, propriedades estruturais, mecânicas e de aparência da folha seca.

Com respeito ao comprimento médio da fibra, YOUNG (1980) afirma que este parâmetro afeta a formação ou uniformidade da distribuição das fibras. Quanto mais curtas forem as fibras, mais uniforme será a formação da folha e melhor sua estabilidade dimensional, por exemplo. O comprimento médio das fibras também afeta as propriedades mecânicas da folha de papel produzida. A resistência ao rasgo, por exemplo, decresce com o decréscimo no comprimento médio da fibra.

Além das propriedades intrínsecas das fibras evidenciadas acima, SETH (1991) afirma também que os parâmetros que descrevem o estado de ligação das fibras em uma rede têm sido incluídos em estudos, de forma a se tornarem aptos a prever as propriedades do papel. Usando estes parâmetros, a resistência e o potencial ótico das polpas podem ser estimadas e as propriedades das diferentes polpas comparadas. Segundo RETULAINEN & EBELING (1993), a propriedade de ligação entre fibras é a chave para a coesão interna do papel. Quase todas as interações mecânicas entre as fibras durante a fabricação do papel toma lugar através das ligações das fibras.

Segundo CARPIM (1987) et al., as propriedades que dependem do grau de ligação entre fibras como densidade aparente e as resistências à tração e ao arrebentamento, mostraram maiores índices nas polpas com mais fibras por grama. Isto comprova que esta característica proporciona mais pontos de contato, aumentando o número de ligações. Ao mesmo tempo, se observa nessas polpas maior resistência ao ar Gurley. Para NEVELL & ZERONIAN (1985), a

refinação produz fibrilação interna, externa e corte das fibras, cuja conseqüência é o aumento do número e das áreas de ligações entre fibras.

Segundo SAUCEDO & GONZÁLEZ (1981), o conteúdo de hemiceluloses na polpa torna as fibras e as fibrilas mais susceptíveis à ação de refino, produzindo fibrilação em lugar de corte. Isto colabora para melhor ligação entre fibras. Devido ao grande número de flexões que sofre a fibra, são afetadas algumas das ligações internas, resultando no que se conhece como fibrilação interna. Para JIMÉNEZ (1970), uma das maneiras indiretas de se avaliar o teor de hemiceluloses é medir a solubilidade da pasta em solução concentrada de NaOH (S_5 , por exemplo). Segundo DASGUPTA (1994), altos níveis de refinação da polpa podem também causar efeitos adversos tais como degradação da resistência da fibra, devido aos danos físicos causados à ela.

Em função do que foi exposto pelo autores acima referenciados, neste trabalho optou-se por analisar algumas propriedades intrínsecas das fibras, tais como "coarseness" e comprimento médio das fibras; propriedades intrínsecas da pasta celulósica, tais como viscosidade intrínseca, S_5 , número de fibras por grama, teor de finos DPCJ e °SR inicial (sem refinar), buscando correlacioná-las com propriedades da folha formada sem refinação e para alguns níveis de refino, tais como índice de tração, índice de rasgo, volume específico, etc. As pastas celulósicas analisadas foram divididas em dois grandes grupos: brasileiras e internacionais onde foram comparadas em termos das propriedades das folhas formadas a partir destas pastas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Amostragem

O trabalho foi realizado com treze amostras de pastas celulósicas de mercado, produzidas por fabricantes do Brasil e do exterior (Chile, Portugal e Espanha), todas a partir de eucalipto. As celulosas eram branqueadas e disponíveis regularmente aos fabricantes de papéis de impressão e escrita no mercado mundial. Tanto os fabricantes como a origem das celulosas foram omitidos para evitar eventuais comparações indesejáveis entre fabricantes. Dessa forma, as diferentes amostras foram tratadas como dois grandes grupos: brasileiras e internacionais.

As amostras constituíram-se de folhas retangulares de celulose. Para realização das análises retirou-se cerca de 1 cm de cada um dos quatro lados da folha, rasgando-a manualmente e utilizando-se o restante, conforme método descrito pela norma da TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY (TAPPI 400 om - 85).

As determinações físico-químicas foram realizadas nos laboratórios do Centro Tecnológico da Riocell S.A., desde a preparação, ensaios e análises das amostras. Para efeito do presente estudo, foram selecionadas propriedades mais típicas e mais comumente avaliadas em polpas para fabricação de papel.

2.2 Propriedades testadas

As propriedades testadas foram: viscosidade intrínseca, solubilidade em solução de $\text{NaOH}_{5\%}$ (S_5), "coarseness", número de fibras/g, comprimento médio das fibras, teor de finos pelo vaso dinâmico de drenagem (DPCJ), grau Schopper Riegler (°SR), índice de tração, alongamento, índice de arrebentamento, índice de rasgo, volume específico, resistência ao ar, alvura, opacidade e ascensão capilar Klemm para cada uma das pastas sem refinar. Após refinação, a cada um dos níveis de 25°SR, 30°SR, 40°SR e 55°SR, foram feitos somente os testes de índice de tração, alongamento, índice de arrebentamento, índice de rasgo, volume específico, resistência ao ar, opacidade, alvura e ascensão capilar Klemm.

As medições das características anatômicas das fibras resultantes foram classificadas em dois tipos fundamentais: "com corte" e "sem corte", tanto para o número de fibras quanto para o "coarseness". Segundo EQUIPE DEPTTEC (1989), denomina-se medição "sem corte" quando o aparelho considera em suas medições qualquer partícula como unitária para efeitos de contagem, independentemente de seu tamanho. No caso da denominação "com corte", o aparelho somente considera como unitárias as partículas cujo comprimento for superior a 0,25 mm. Desta forma, evitam-se contar como fibras os fragmentos pequenos de fibras e as células de parênquima.

2.3 Análise estatística dos resultados

Todos os dados obtidos foram analisados estatisticamente através de comparação de médias, por Análise de Variância com significância de 5% de probabilidade, por meio da Análise

de Dados, planilha eletrônica EXCEL – Microsoft. Para os ensaios feitos após a refinação foram construídas tabelas de correlação ao nível de 5% de significância, utilizando a Análise de Dados do EXCEL.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliações laboratoriais das celuloses

As treze amostras de celulose foram avaliadas laboratorialmente levando em consideração todas as suas propriedades. Posteriormente, para verificar se haviam diferenças significativas entre as médias dos valores das propriedades pertencentes às polpas brasileiras e internacionais, foi feita uma análise ANOVA utilizando a Análise de Dados do EXCEL, cuja síntese está representada no Quadro 1.

QUADRO 1 – Resumo da análise ANOVA para variáveis em estudo

POLPAS DE MERCADO	Médias (Polpas Brasileiras)	Coefficiente de Variação (%)	Médias (Polpas Internac.)	Coefficiente de Variação (%)	F	valor-P	Signifi- cância
VISCOSIDADE INTRINSECA (cm ³ /g)	755,13	8,88	809,60	8,84	1,93	0,19	NS
S5 (%)	10,30	12,67	12,53	7,33	10,98	0,01	S
COARSENESS (mg/100m) com corte	5,98	9,53	6,93	7,73	9,01	0,01	S
COARSENESS (mg/100m) sem corte	5,96	10,81	6,84	7,54	6,64	0,03	S
NÚMERO DE FIBRAS/g (milhões) com corte	24,21	8,41	19,46	6,49	21,51	< 0,01	S
NÚMERO DE FIBRAS/g (milhões) sem corte	24,54	11,36	19,64	5,94	13,57	0,00	S
COMPRIMENTO MÉDIO DA FIBRA (mm)	0,70	3,81	0,75	2,19	16,67	< 0,01	S
TEOR DE FINOS DPCJ (%)	9,56	8,20	8,98	11,12	1,33	0,27	NS
*SR (POLPA NÃO REFINADA)	23,00	8,70	17,80	4,70	29,71	< 0,01	S
Nº REVOLUÇÕES PFI (25 °SR)	0,23	72,51	1,03	21,60	46,15 (*)	< 0,01	S
Nº REVOLUÇÕES PFI (30 °SR)	0,70	55,88	1,74	23,56	21,29	< 0,01	S
Nº REVOLUÇÕES PFI (40 °SR)	1,99	31,93	3,08	19,50	9,33	0,01	S
Nº REVOLUÇÕES PFI (55 °SR)	4,10	35,99	4,72	17,03	0,73	0,41	NS
ÍNDICE DE TRAÇÃO (N.m/g)	29,06	22,69	21,10	11,60	6,53	0,03	S
ÍNDICE DE TRAÇÃO (N.m/g) (25 °SR)	36,20	9,75	54,98	3,63	110,72 (*)	< 0,01	S
ÍNDICE DE TRAÇÃO (N.m/g) (30 °SR)	52,59	4,39	67,54	2,47	156,54	< 0,01	S
ÍNDICE DE TRAÇÃO (N.m/g) (40 °SR)	79,06	6,92	81,10	2,74	0,61	0,45	NS
ÍNDICE DE TRAÇÃO (N.m/g) (55 °SR)	90,85	9,12	93,68	5,95	0,45	0,52	NS
ALONGAMENTO (%)	1,81	11,59	1,26	16,46	21,49	< 0,01	S
ALONGAMENTO (%) (25 °SR)	2,12	6,95	2,28	10,47	1,94 (*)	0,20	NS
ALONGAMENTO (%) (30 °SR)	2,70	9,29	2,90	12,43	1,41	0,26	NS
ALONGAMENTO (%) (40 °SR)	3,61	9,97	3,50	8,81	0,33	0,58	NS
ALONGAMENTO (%) (55 °SR)	4,20	11,02	4,08	9,07	0,24	0,64	NS
ÍNDICE DE ARREBENTAMENTO (kPa.m ² /g)	1,14	48,82	0,38	39,03	8,64	0,01	S
ÍNDICE DE ARREBENTAMENTO (kPa.m ² /g) (25 °SR)	1,52	28,41	2,20	7,19	11,15 (*)	< 0,01	S
ÍNDICE DE ARREBENTAMENTO (kPa.m ² /g) (30 °SR)	2,71	20,99	3,18	7,83	2,93	0,11	NS
ÍNDICE DE ARREBENTAMENTO (kPa.m ² /g) (40 °SR)	4,91	17,42	4,46	6,46	1,26	0,28	NS
ÍNDICE DE ARREBENTAMENTO (kPa.m ² /g) (55 °SR)	6,38	15,11	5,93	11,47	0,81	0,39	NS
ÍNDICE DE RASGO (mN.m ² /g)	5,46	21,50	3,18	16,99	16,29	< 0,01	S
ÍNDICE DE RASGO (mN.m ² /g) (25 °SR)	7,07	11,09	9,22	6,30	25,74 (*)	< 0,01	S
ÍNDICE DE RASGO (mN.m ² /g) (30 °SR)	9,54	5,66	11,06	7,63	16,04	< 0,01	S
ÍNDICE DE RASGO (mN.m ² /g) (40 °SR)	12,45	6,77	12,00	3,86	1,17	0,30	NS
ÍNDICE DE RASGO (mN.m ² /g) (55 °SR)	12,10	3,59	11,68	4,26	2,59	0,14	NS
VOLUME ESPECÍFICO (cm ³ /g)	2,14	4,89	2,44	1,99	35,09	< 0,01	S
VOLUME ESPECÍFICO (cm ³ /g) (25 °SR)	2,01	4,33	1,95	2,64	2,02 (*)	0,19	NS
VOLUME ESPECÍFICO (cm ³ /g) (30 °SR)	1,84	3,20	1,83	2,88	0,17	0,69	NS
VOLUME ESPECÍFICO (cm ³ /g) (40 °SR)	1,63	2,25	1,71	1,74	16,68	< 0,01	S
VOLUME ESPECÍFICO (cm ³ /g) (55 °SR)	1,50	2,82	1,60	1,42	22,27	< 0,01	S
RESISTÊNCIA AO AR (s/100 cm ³)	1,38	28,50	0,52	8,60	22,85	< 0,01	S
RESISTÊNCIA AO AR (s/100 cm ³) (25 °SR)	2,25	28,77	1,56	15,44	5,02 (*)	0,05	NS
RESISTÊNCIA AO AR (s/100 cm ³) (30 °SR)	4,29	31,94	3,44	7,30	1,82	0,20	NS
RESISTÊNCIA AO AR (s/100 cm ³) (40 °SR)	17,15	24,26	10,70	17,74	10,38	0,01	S
RESISTÊNCIA AO AR (s/100 cm ³) (55 °SR)	61,78	22,96	42,32	23,07	7,16	0,02	S
OPACIDADE (%)	81,19	0,59	79,88	0,38	29,57	< 0,01	S
OPACIDADE (%) (25 °SR)	80,35	0,59	77,04	1,07	69,54 (*)	< 0,01	S
OPACIDADE (%) (30 °SR)	79,30	0,85	76,16	1,43	41,96	< 0,01	S
OPACIDADE (%) (40 °SR)	76,75	1,34	74,80	1,57	9,95	0,01	S
OPACIDADE (%) (55 °SR)	74,58	1,14	73,36	1,11	6,43	0,03	S
ALVURA (% ISO)	89,10	1,85	89,12	1,01	0,00	0,98	NS
ALVURA (% ISO) (25 °SR)	89,73	0,58	88,36	1,16	8,32 (*)	0,02	S
ALVURA (% ISO) (30 °SR)	88,45	1,77	87,90	1,30	0,46	0,51	NS
ALVURA (% ISO) (40 °SR)	87,76	2,00	87,40	1,52	0,16	0,70	NS
ALVURA (% ISO) (55 °SR)	86,48	2,31	86,66	1,08	0,04	0,85	NS
ASCENÇÃO CAPILAR KLEMM (mm/10 min)	91,75	7,29	119,00	2,45	72,32	< 0,01	S
ASCENÇÃO CAPILAR KLEMM (mm/10 min) (25 °SR)	78,67	8,46	85,40	4,43	4,00 (*)	0,08	NS
ASCENÇÃO CAPILAR KLEMM (mm/10 min) (30 °SR)	64,88	13,40	67,40	7,75	0,34	0,57	NS
ASCENÇÃO CAPILAR KLEMM (mm/10 min) (40 °SR)	40,63	13,98	44,60	7,37	1,99	0,19	NS
ASCENÇÃO CAPILAR KLEMM (mm/10 min) (55 °SR)	25,38	12,63	28,00	3,57	3,17	0,11	NS

É importante ressaltar algumas observações referentes a este quadro.

- para a maioria dos casos, o F crítico a um nível de 5% de significância foi definido como sendo 4,84, correspondendo ao grau de liberdade dentro do grupos igual a 11. Houve exceção

para os casos indicados com um asterísco (F crítico = 5,12), correspondendo ao grau de liberdade dentro do grupos igual a 9.

Foram definidos com a nomenclatura "S" os casos em que houve diferenças significativas entre as médias, ao nível de significância de 5 %. Quando não houve diferenças significativas foi utilizada a nomenclatura "NS".

A seguir foi feita análise dos resultados dos ensaios realizados para as propriedades consideradas nos diversos níveis de refino. Paralelamente a esta análise foram plotadas estas mesmas propriedades como função da resistência à drenabilidade e eventualmente de outra propriedade de significância para a destinação do papel. A escolha da resistência à drenabilidade se deve ao referencial que representa cada nível de refino para a execução dos ensaios. A utilização referencial das demais propriedades como viscosidade intrínseca, S_5 , "coarseness", número de fibras por grama, comprimento médio de fibra e teor de finos DPCJ será feita oportunamente, a medida em que for analisada cada propriedade.

Pelo Quadro 1, se percebe que as médias das propriedades das polpas brasileiras e internacionais diferem significativamente, enquanto ainda não foram refinadas, diminuindo a diferença à medida em que se aumenta o grau de refinação.

Mesmo não sendo considerada uma propriedade físico-química da polpa, o número de revoluções mede de uma forma indireta a quantidade de energia gasta durante o processo de refinação das polpas. O coeficiente de variação para as diversas propriedades foram extremamente elevadas em todos os níveis de refino, mas com tendência a decrescer a medida em que se aumentam os níveis de refinação.

Conforme a Figura 1, o número das revoluções necessárias para atingir determinada resistência à drenabilidade é maior para as polpas internacionais do que para as polpas brasileiras. Em outras palavras, gasta-se menos energia para refinar as polpas brasileiras. Um dado importante que pode explicar a maior facilidade em refinar as polpas brasileiras, é que inicialmente estas polpas possuem maior resistência à drenabilidade, maior número inicial de fibras por grama, menor comprimento médio das fibras e menores valores de "coarseness" em relação às polpas internacionais.

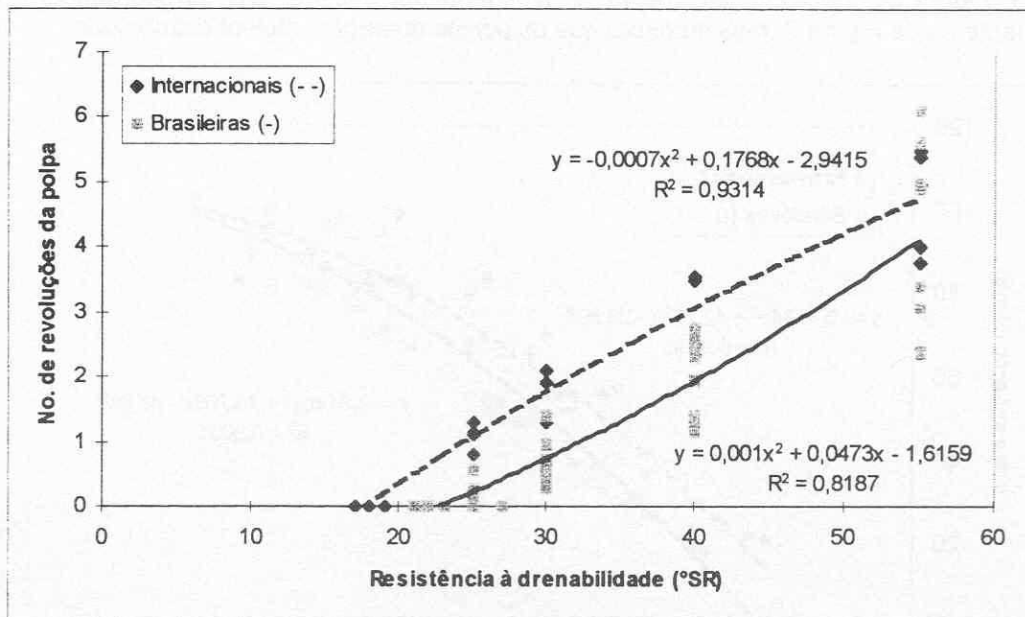


FIGURA 1 – Resistência à drenabilidade vs. nº de revoluções da polpa

O índice de tração inicial (polpas não refinadas) das polpas brasileiras apresenta média maior em relação às internacionais. Entretanto, já para os níveis de 25 °C e 30 °C as polpas internacionais superam significativamente as médias de tração das polpas brasileiras. Para os níveis de 40 °C e 55 °C, as médias de tração das polpas brasileiras e internacionais não são significativamente diferentes. Como nas fábricas de papel para impressão e escrita a partir de celuloses de eucalipto se trabalham com níveis de refino na faixa dos 30 °C, as polpas internacionais avaliadas se mostraram mais indicadas para papéis onde o índice de tração se faz necessário.

Na Figura 2, configura-se a tendência das polpas internacionais de apresentarem um maior índice de tração, que apesar da diferença visual observada na curva, só é significativa nos níveis da polpa sem refino, a 25 °SR e a 40 °SR. Isto pode ser explicado pelo comprimento médio maior das fibras das polpas internacionais (0,75 mm) em relação às polpas brasileiras (0,70 mm), pelo maior teor de hemiceluloses (evidenciado pelo S₅) e pelo maior "coarseness", que indica possivelmente fibras de paredes mais espessas e mais resistentes.

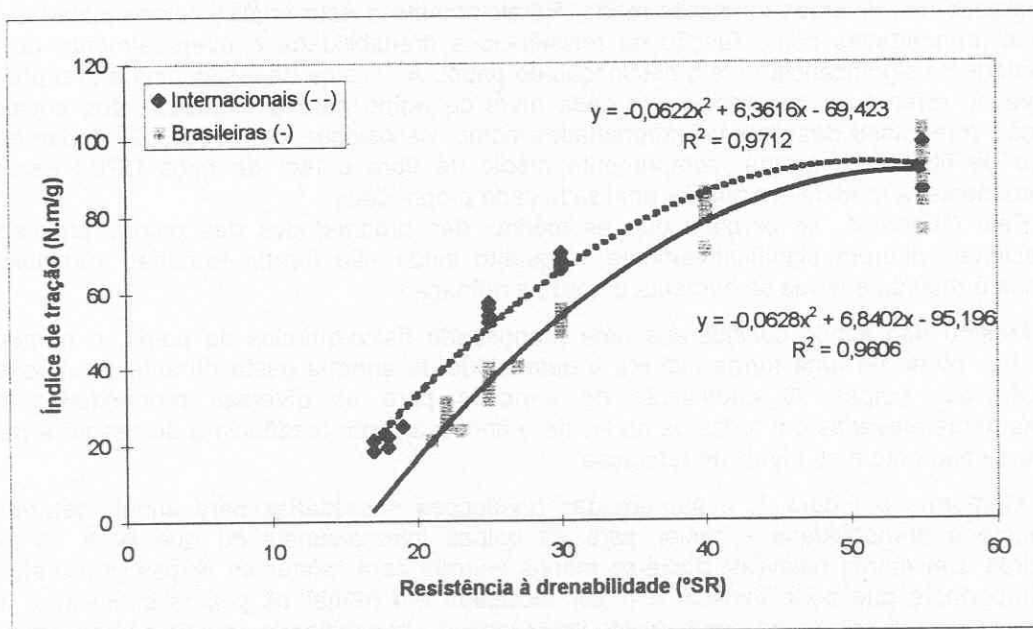


FIGURA 2 – Resistência a drenabilidade vs. índice de tração

A Figura 3, relacionando tração e alongamento, mostra um comportamento muito semelhante ao da Figura 2, mas de forma que os pontos apareçam melhor distribuídos.

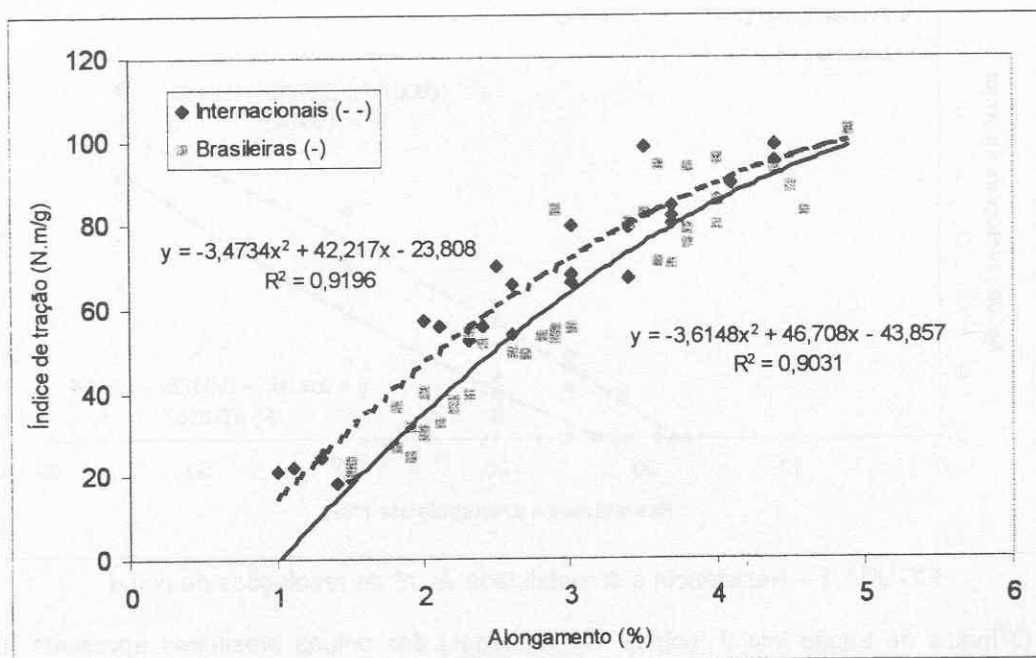


FIGURA 3 – Alongamento vs. índice de tração

CASALS (1985) diz que o alongamento é uma característica que o papel apresenta antes que se inicie o seu rasgo ou seu arrebentamento quando submetido a um esforço, e que nem sempre uma maior resistência à tração ou arrebentamento supõe um maior alongamento. Entretanto, é importante salientar que o índice de tração e o alongamento possuem uma

correlação muito boa no caso deste estudo, tanto em relação as polpas brasileiras como internacionais, o que pode ser confirmado pelo valores de R^2 calculados para os dois casos.

Mesmo havendo diferenças significativas entre as médias dos índices de arrebatamento para as polpas brasileiras e internacionais somente no nível inicial e a 25 °SR, o coeficiente de variação para as polpas brasileiras mostrou-se bastante superior em relação às polpas internacionais. Isto ocorre também para as outras propriedades analisadas no refino para a maioria dos casos, porém com valores de coeficientes de variação mais baixos. A razão era a maior heterogeneidade entre a qualidade das polpas brasileiras de vido a processos e matérias-primas.

Na Figura 4 pode-se visualizar as diferenças entre as polpas brasileiras e internacionais no caso do nível inicial de refino e a 25 °SR, sendo mais fácil visualizar que não há diferenças significativas entre elas para os outros níveis. É interessante notar, que ao nível inicial, a média dos índices de arrebatamento das polpas brasileiras superam fortemente a média das polpas internacionais.

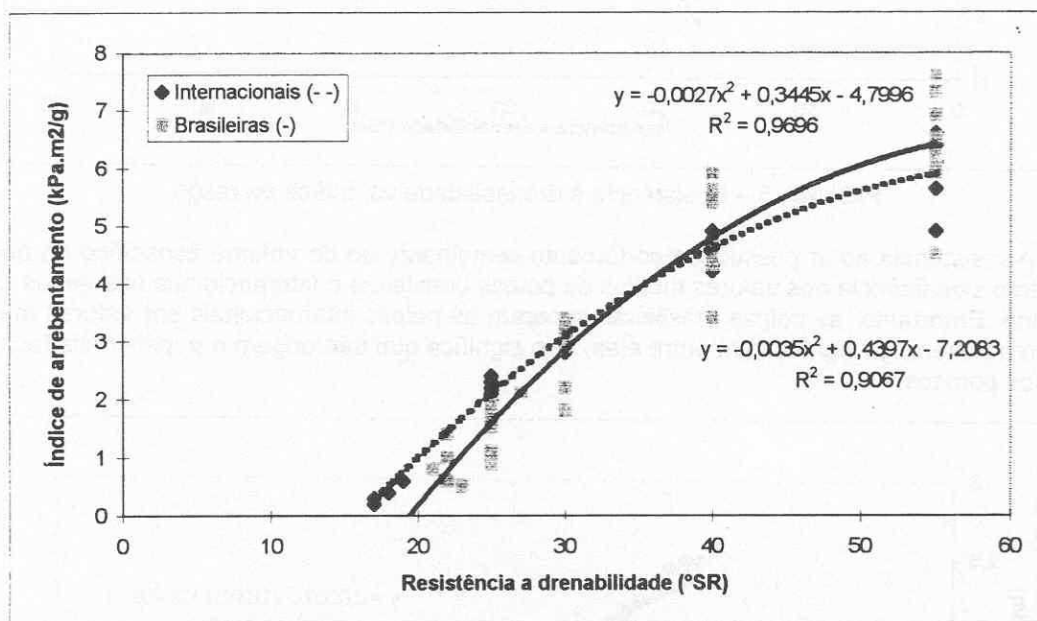


FIGURA 4 – Resistência à drenabilidade vs. índice de arrebatamento

Conforme CASALS (1985), um alto índice de arrebatamento é exigido quando o impresso a ser realizado se destina a elaboração de bolsas de papel, de livros escolares, envelopes e papéis de embalagem. Como ao nível de 30 °SR, as polpas brasileiras e internacionais não apresentaram diferenças significativas, levando-se em conta apenas o seu perfil de arrebatamento, qualquer uma delas poderia ser utilizada para este tipo de aplicação.

O índice de rasgo apresentou comportamento muito semelhante ao índice de tração. O Quadro 1 mostra a diferença significativa entre as médias iniciais dos dois tipos de polpas, com as polpas brasileiras apresentando valores médios mais altos de índice de rasgo. Entretanto, a 25 °SR e 30 °SR as diferenças entre as médias permanecem significativas porém, havendo um superação em termos médios por parte das polpas internacionais. A 40 °SR e 55 °SR as diferenças deixam de ser significativas. A Figura 5 permite visualizar melhor este comportamento.

O volume específico médio das polpas brasileiras e internacionais diferiram, inicialmente, de maneira significativa; não apresentaram diferenças aos níveis de 25 e 30 °SR, e voltaram a diferir significativamente aos níveis de 40 °SR e 55 °SR. As diferenças dos valores médios de volume específico entre as polpas ao nível em que ainda não havia refinação podem ser explicadas pela resistência à drenabilidade significativamente maior para as polpas brasileiras em relação às internacionais, neste nível.

A Figura 6 mostra que, ao mesmo nível de refino, não se verifica um perfil de curva diferenciado na propriedade de volume específico, mas é importante notar que a partir de 40 °SR o volume específico tende a estabilizar em torno de 1,5 cm³/g, aproximadamente. Para os níveis de refino praticados na indústria, tanto as polpas brasileiras como as internacionais podem ser utilizadas para as aplicações onde altos valores de volume específico aparente se fazem necessários.

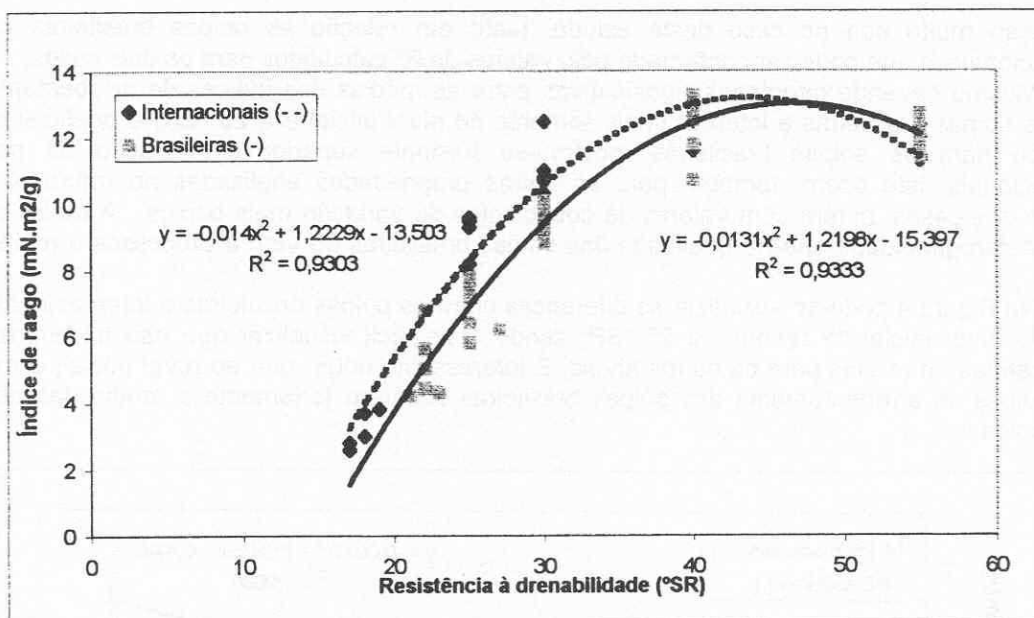


FIGURA 5 – Resistência à drenabilidade vs. índice de rasgo

A resistência ao ar possui comportamento semelhante ao do volume específico no que diz respeito à significância dos valores médios da polpas brasileiras e internacionais nos vários níveis de refino. Entretanto, as polpas brasileiras superam as polpas internacionais em valores médios, quando há diferença significativa entre elas. Isso significa que dão origem a papéis mais fechados e menos porosos.

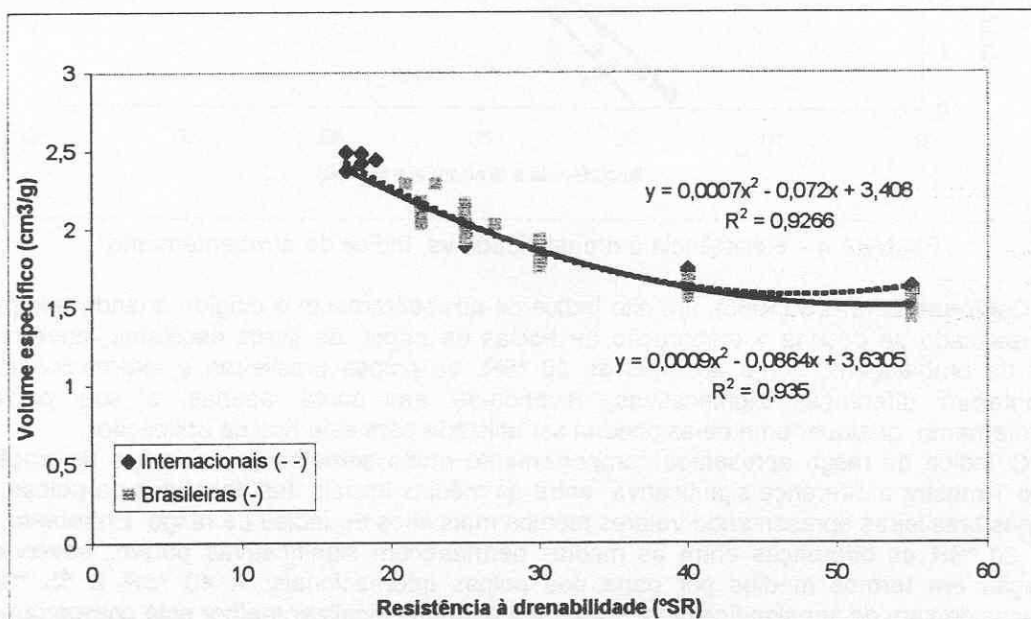


FIGURA 6 – Resistência à drenabilidade vs. volume específico

A Figura 7 mostra claramente que ao níveis de 40 e 55 °SR as polpas brasileiras apresentam maiores valores de resistência ao ar. Um dado importante que pode ter influenciado este resultado é o número inicial de fibras por grama, tanto com corte como sem corte, devido à maior concentração fibrosa. Somados a isto, a evolução do refino e a geração de fragmentos de fibras e colapsamento de fibras de paredes mais finas propiciaram a formação de folhas feitas a partir das pastas celulósicas brasileiras, mais fechadas do que as que usaram pastas celulósicas internacionais.

Segundo ROSSI FILHO (1997), a resistência ao ar afeta a absorção do veículo da tinta. Na impressão em máquinas rotativas é necessário que a resistência ao ar seja baixa para propiciar rápida penetração do solvente e rápido assentamento da tinta para evitar decalque e riscos no

impresso. Outras aplicações requerem papéis menos porosos para evitar penetração excessiva e atravessamento da tinta. Nos níveis mais usuais de refino, para papéis de impressão e escrita, as polpas brasileiras e internacionais foram equivalentes para essa propriedade.

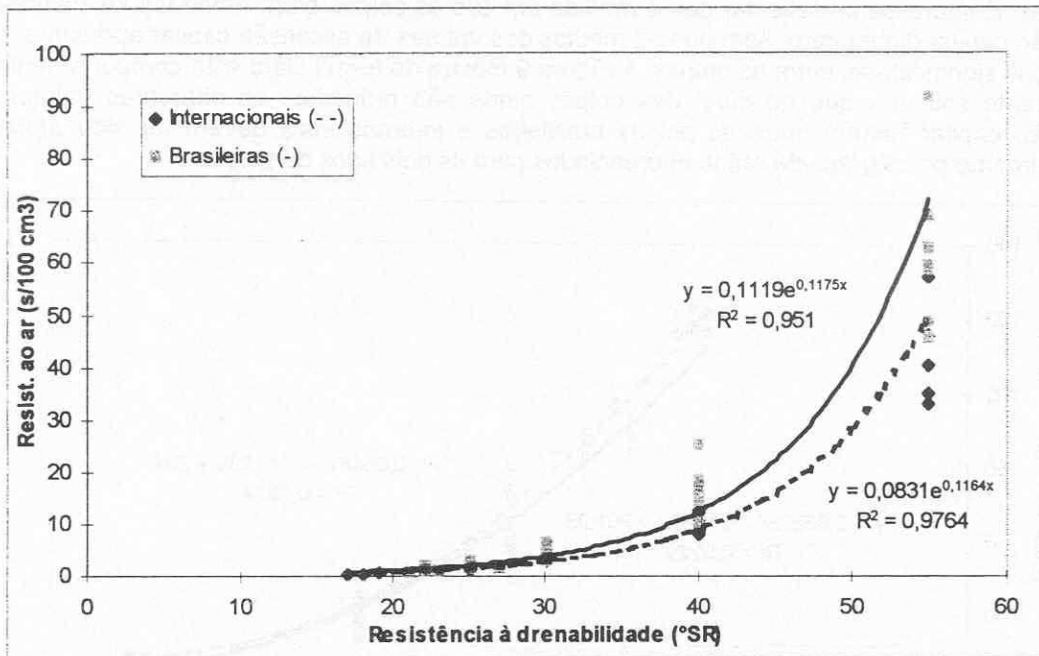


FIGURA 7 – Resistência à drenabilidade vs. resistência ao ar

As médias relativas à opacidade para as polpas brasileiras e internacionais apresentam diferenças significativas ao nível inicial e a todos os níveis de refino. As polpas brasileiras superam as polpas internacionais em todos estes níveis, conforme pode ser visualizado na Figura 8. Maiores valores de opacidade apresentados pelas polpas brasileiras podem estar relacionadas com as características anatômicas: maior número de fibras por grama, menor “coarseness” e menor comprimento de fibras

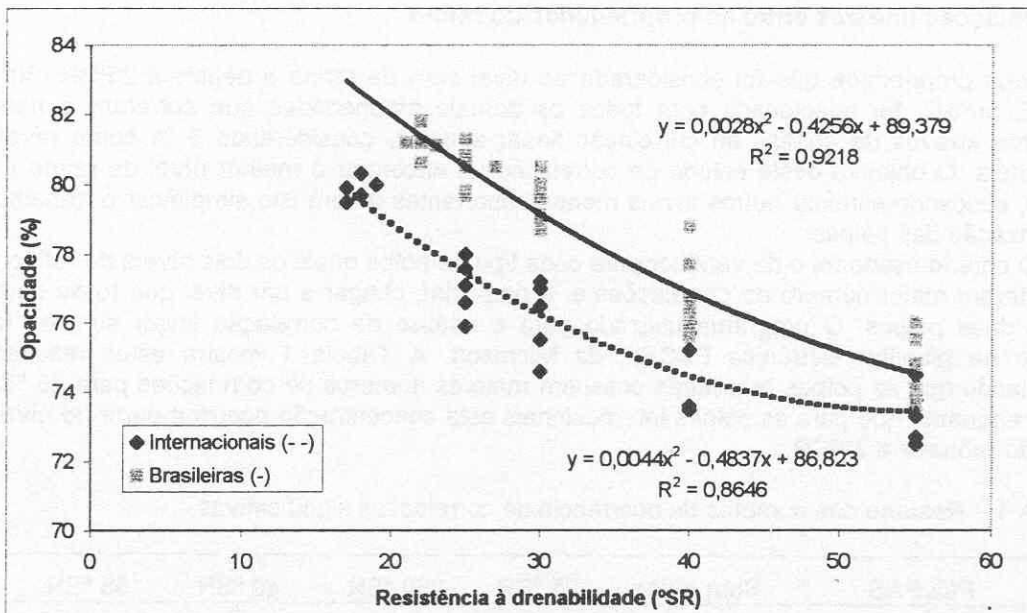


FIGURA 8 – Resistência à drenabilidade vs. opacidade

Segundo ROSSI FILHO (1997), uma alta opacidade é necessária na impressão “offset”, a fim de evitar o inconveniente de aparecer no verso de uma folha de papel a imagem impressa na frente da mesma folha, fato este que é agravado quando se trata de impressões frente e verso.

As médias de ascensão capilar Klemm da polpas brasileiras e internacionais apresentaram diferenças significativas apenas no nível inicial, quando as polpas ainda não haviam sido refinadas. É interessante salientar que à medida em que as polpas eram refinadas, os valores de ascensão capilar diminuíram, sem que as médias dos valores de ascensão capilar apresentassem diferenças significativas entre as polpas. A Figura 9 mostra de forma clara este comportamento. É interessante salientar que ao nível das polpas ainda não refinadas, os diferentes valores de ascensão capilar Klemm entre as polpas brasileiras e internacionais devem ter sido afetados sensivelmente pelos graus de refino diferenciados para os dois tipos de polpas.

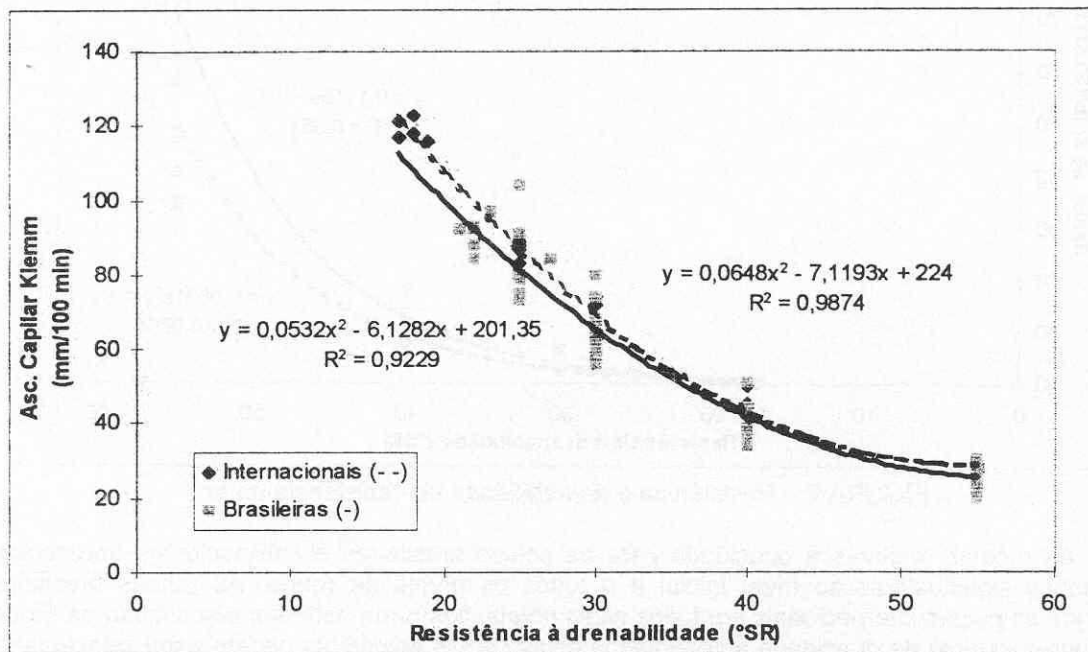


FIGURA 9 – Resistência à drenabilidade vs. ascensão capilar Klemm

3.2 Correlações lineares entre as propriedades do refino

Cada propriedade que foi considerada ao nível zero de refino e depois a 25°SR, 30°SR, 40°SR E 55°SR, foi relacionada com todas as demais propriedades que sofreram o mesmo tratamento através de análise de correlação linear simples, considerando 5 % como nível de significância. O objetivo deste estudo de correlação foi encontrar o melhor nível de refino a ser adotado, buscando eliminar outros níveis menos importantes e com isto simplificar o trabalho de caracterização das polpas.

O critério usado foi o de verificar para cada tipo de polpa quais os dois níveis de refino que apresentaram maior número de correlações e, a partir daí, chegar a um nível que fosse comum para as duas polpas. O programa utilizado para a análise de correlação linear simples foi o existente na planilha eletrônica EXCEL, da Microsoft. A Tabela 1 mostra estes resultados, evidenciando que as polpas brasileiras possuem maiores números de correlações para 25 °SR e 30 °SR, enquanto que para as polpas internacionais esta concentração ocorre a partir do nível da polpa não refinada e 30°SR.

TABELA 1 – Resumo dos números de ocorrência de correlações significativas.

POLPAS	Sem refino	25 °SR	30 °SR	40 °SR	55 °SR
Brasileiras	70	116	99	61	58
Internacionais	97	74	102	82	77
Total	167	190	201	143	135

Uma vez definido um nível referencial de refino, foram feitas correlações entre as propriedades intrínsecas das pastas celulósicas e as demais propriedades, como mostra o Quadro 2. Ficou evidenciado, dentro das faixas apresentadas neste estudo, que quando as polpas são analisadas separadamente há poucas correlações significativas entre as propriedades descritas acima. Entretanto, quando as polpas brasileiras e internacionais são analisadas conjuntamente, evidenciam-se as importâncias do “coarseness”, número de fibras por grama e comprimento médio da fibra.

QUADRO 2 - Matriz de correlação das propriedades intrínsecas com as propriedades analisadas ao nível de refino de 30 °SR.

	Nº de revoluções no PFI	Índice de tração	Alongamento	Índice de arrebentamento	Índice de rasgo	Volume específico	Resistência ao ar	Opacidade	Ascensão capilar Klenn
POLPAS BRASILEIRAS									
VISCOSIDADE INTRÍNSECA (cm ³ /g)	-0,884	-0,070	0,012	-0,147	-0,211	0,318	0,220	0,329	0,230
S5 (%)	-0,875	0,235	-0,033	0,101	-0,043	0,048	0,393	0,166	0,184
COARSENESS (mg/100m) <i>cl</i> corte	0,571	0,123	0,418	-0,097	0,359	-0,291	-0,056	-0,261	-0,310
COARSENESS (mg/100m) <i>sl</i> corte	0,595	0,078	0,400	-0,089	0,278	-0,246	-0,154	-0,314	-0,322
NÚMERO DE FIBRAS/g (milhões) <i>cl</i> corte	-0,583	-0,176	-0,287	0,013	-0,403	0,180	0,140	0,378	0,176
NÚMERO DE FIBRAS/g (milhões) <i>sl</i> corte	-0,470	-0,085	-0,265	0,193	-0,242	0,035	0,198	0,307	0,122
COMPRIMENTO MÉDIO DA FIBRA (mm)	-0,101	0,550	0,024	0,321	0,410	0,046	0,386	-0,539	-0,025
DPCJ (%)	0,839	0,461	0,350	0,294	0,328	-0,740	0,214	-0,407	-0,444
POLPAS INTERNACIONAIS									
VISCOSIDADE INTRÍNSECA (cm ³ /g)	0,534	0,622	-0,544	0,807	0,111	-0,656	-0,564	-0,642	-0,585
S5 (%)	-0,426	-0,177	-0,222	-0,464	0,116	0,840	-0,317	-0,005	0,630
COARSENESS (mg/100m) <i>cl</i> corte	0,547	-0,025	0,623	0,598	0,482	-0,627	-0,104	-0,141	-0,556
COARSENESS (mg/100m) <i>sl</i> corte	0,587	0,085	0,457	0,691	0,404	-0,743	-0,145	-0,205	-0,633
NÚMERO DE FIBRAS/g (milhões) <i>cl</i> corte	-0,534	-0,198	-0,195	-0,679	-0,132	0,667	0,030	0,186	0,673
NÚMERO DE FIBRAS/g (milhões) <i>sl</i> corte	-0,804	-0,548	-0,088	-0,604	-0,229	0,667	0,158	0,543	0,804
COMPRIMENTO MÉDIO DA FIBRA (mm)	0,208	0,682	-0,760	0,257	-0,155	-0,052	-0,327	-0,807	-0,186
DPCJ (%)	-0,354	0,090	-0,268	-0,588	-0,313	0,652	0,261	0,026	0,429
POLPAS BRASILEIRAS E INTERNACIONAIS									
VISCOSIDADE INTRÍNSECA (cm ³ /g)	0,346	0,477	-0,105	0,173	0,285	-0,316	-0,081	-0,384	0,044
S5 (%)	0,266	0,731	0,079	0,219	0,462	0,015	-0,237	-0,514	0,443
COARSENESS (mg/100m) <i>cl</i> corte	0,812	0,692	0,596	0,394	0,742	-0,407	-0,123	-0,848	-0,251
COARSENESS (mg/100m) <i>sl</i> corte	0,826	0,606	0,544	0,385	0,656	-0,397	-0,208	-0,854	-0,308
NÚMERO DE FIBRAS/g (milhões) <i>cl</i> corte	-0,896	-0,799	-0,385	-0,476	-0,742	0,266	0,351	0,788	0,047
NÚMERO DE FIBRAS/g (milhões) <i>sl</i> corte	-0,872	-0,717	-0,352	-0,296	-0,646	0,163	0,430	0,767	0,046
COMPRIMENTO MÉDIO DA FIBRA (mm)	0,666	0,720	-0,113	0,268	0,483	0,284	-0,721	-0,774	0,461
DPCJ (%)	-0,441	-0,208	-0,018	-0,112	-0,384	-0,061	0,503	0,279	-0,158

5 CONCLUSÕES

Para a faixa de viscosidade intrínseca de 672 a 898 cm³/g, não se evidenciou correlação entre esta propriedade e as associadas com o grau de interligação entre as fibras, como por exemplo: índice de tração, índice de rasgo e índice de arrebentamento, para cada grupo de polpas de eucalipto avaliadas (brasileiras e internacionais). Mesmo quando as polpas são analisadas em conjunto, não se evidenciou correlações que possam prever os comportamentos destas propriedades em função da viscosidade intrínseca.

Na faixa de S₅ (indicação indireta do teor de hemiceluloses das pastas celulósicas) entre 8,0 e 13,7 %, não se evidenciou correlação entre esta propriedade e àquelas que estejam associadas com o grau de interligação de fibras, para cada grupo avaliado (polpas brasileiras e polpas internacionais). Entretanto, quando as polpas são analisadas em conjunto, observa-se que existe uma correlação positiva aos níveis de refino de 25 e 30 °SR para o índice de tração, e aos níveis de 25 e 55 °SR para o índice de rasgo.

As celuloses de eucalipto brasileiras apresentam uma maior drenabilidade inicial, requerendo um menor número de revoluções para atingir o mesmo grau de refino em relação às polpas internacionais. Os valores médios iniciais do índice de tração, do índice de arrebentamento, do índice de rasgo e alongamento apresentados pelas celuloses brasileiras

superaram significativamente os valores obtidos para as celuloses internacionais, mudando porém este comportamento já a partir do nível de 25 °SR.

No nível referencial de 30 °SR, as celuloses de eucalipto internacionais apresentam uma superioridade nas propriedades de rasgo e tração, passando a ser indicadas para os segmentos de impressão onde estas propriedades se fazem necessárias.

Todavia, os maiores valores em opacidade no nível referencial valorizam o uso das celuloses brasileiras. Portanto, cabe ao fabricante determinar qual o conjunto de propriedades mais adequado ao seu processo e produto.

Como conclusão final, tomando-se o maior somatório do número de correlações, identificou-se para as celuloses de eucalipto que o nível de 30 °SR permite projetar o desempenho ao longo de todo o refino para as propriedades físico-mecânicas e opacidade. Tal escolha permite uma diminuição do corrente número de refinações realizadas em laboratório. Dentro desta diretriz, a concentração nos testes de índice de tração, índice de rasgo e opacidade também reduzirá o número de análises empregadas para avaliar este tipo de matéria-prima.

7 BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ANNIKKI, H. LEVLIN, J-E., HANNU, P. Principles and methods in pulp characterization: basic fiber properties. In: EUCEPA CONFERENCE, 24., 1990, Stockholm. **Proceedings ...** Stockholm, The Swedish Association of Pulp and Paper Engineers, 1990, p. 174-187.

CARPIM, M.A., BARRICHELLO, L.E.G., CLAUDIO-DA-SILVA, JR., DE VASCONCELOS DIAS, R.L. A influência do número de fibras por grama nas propriedades óticas do papel. In: CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL, 20., 1987, São Paulo. **Anais ...** São Paulo: Associação Técnica Brasileira de Celulose e papel, 1987, p. 183 - 205.

CASALS, R. **Características del papel.** Barcelona: Howson - Algraphy, 1985, 174 p.

D'ALMEIDA, M.L.O. Viscosidade de uma pasta celulósica e a resistência do papel formado. **O papel**, p. 39-42, Ago. 1986

DASGUPTA, S. Mechanism of paper tensile-strength development due to pulps beating. **Tappi Journal**, v. 77, n. 6, p.158-166, Jun. 1994.

EQUIPE DEPDEC. **Medição do mínimo comprimento de fibra de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*.** Guaíba: Riocell, 1989, 12 p. (Nota Técnica).

HORTAL, J.G. **Constituyentes fibrosos de pastas y papeles.** Terrassa: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Terrassa, 1988, 186 p. Cap. 2, p. 11-36: Composición química y estructura de la fibra.

JIMÉNEZ, J.R. **Los controles en la fabricación del papel.** Madrid: Blume, 1970. 361 p. Cap.12, p.199-249: Relación entre las características de las pastas y los papeles.

KEREKES, R. J., SCHELL, C.J. Effects of fiber length and coarseness on pulp flocculation. **Tappi Journal**, v.78, n.2, p.133-139, Feb. 1995.

LEVLIN, J-E. The characterization of papermaking pulps. **Tappi**, v.58, n.1, p. 71-74, Jan. 1975.

RETULAINEN, E., EBELING, K. Fibre bonding and ways of characterizing bond strength. **Appita**, v. 46, n. 4, p. 282-288. Jul.1993.

ROSSI FILHO, S. **Impressões offset: soluções práticas.** Porto Alegre: Colégio de Formação Profissional SENAI de Artes Gráficas Henrique d'Ávila Bertaso: 1997. 127 p.

SAUCEDO, J. J., GONZÁLEZ, S.F. Identificación y efecto de las hemiceluloses sobre las propiedades físicas de la celulosa y papel. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE

CELULOSA Y PAPEL, 2., 1981, Torremolinos. **Anais** ... Torremolinos: Asociación de Investigación Técnica de la Industria Papelera Española, 1981. p. 143-151.

SETH, R. S. The importance of fibre coarseness for pulp properties. In: ANNUAL MEETING, 77., 1991, Montreal. **Proceedings** ... Montreal: Canadian Pulp and Paper Association, 1991. p. 251-252.

TASMAN, J. E. **Pulp and paper manufacture: mill control and control systems**. Atlanta: Tappi, 1992. 430 p. Cap. 2, p. 48-84: Evaluation of raw materials and product quality.

YOUNG, J. H. **Pulp and paper: chemistry and chemical technology**. 3 ed., New York: John Wiley & Sons, 1980, 1446 p., Cap. 6: Fiber preparation and approach flow. 1980.