

SIGNIFICÂNCIA DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À DRENAGEM SCHOPPER-RIEGLER NO CONTROLE DO GRAU DE REFINAÇÃO DE PASTAS CELULÓSICAS

Patrícia Kaji Yasumura Sasaki¹; Maria Luiza Otero D'Almeida²; Mariza Tsukuda Koga³; Regina Coeli Testa Takahashi⁴

(1,2,3,4) Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A - IPT, telefone 55 11 3767-4449, fax 55 11 3767-4098, e-mail pkaji@ipt.br

RESUMO

Os parâmetros normalmente considerados para o controle da refinação em um refinador PFI são o número de revoluções, a energia empregada na refinação, o grau de refinação e as propriedades de resistência da folha formada com a pasta celulósica refinada. Este trabalho considera a aplicabilidade de cada parâmetro, e conclui ser o de drenabilidade o mais prático e direto, porém deve ser acompanhado de um parâmetro de resistência física.

PALAVRAS CHAVES

Programas interlaboratoriais; refinação; Schopper-Riegler; propriedades físicas de papel; resistência à tração; resistência ao rasgo.

ABSTRACT

The parameters usually considered for the control of refining in PFI are the number of revolutions, the energy used in the refining, the degree of refining and the resistance properties of the handsheets. This work considers the applicability of each parameter, and concludes that the most practical and direct one is the drainage, however it must be followed by a physical resistance test.

KEYWORDS

Proficiency testing; refining; Schopper-Riegler; paper physical properties; tensile strength; tearing resistance.

INTRODUÇÃO

A refinação é o tratamento mecânico dado às fibras de celulose com a finalidade de melhorar a formação do papel e suas propriedades físicas, sendo deste modo uma etapa importante do processo de fabricação de papel. Ela é realizada por máquinas específicas, denominadas refinadores, compostos essencialmente de um rotor e um estator, revestidos de lâminas ou facas de aço não corrosivo de elevada dureza^[1].

As propriedades da fibra são extensamente alteradas pelo refino. Os efeitos principais que podem ocorrer são: a fibrilação interna, fibrilação externa, formação de finos e corte das fibras. O ideal é que a pasta celulósica atinja o grau de refinação considerado ótimo, aquém e além do qual não se obtém papel da melhor qualidade possível. Cada lote de pasta celulósica tem seu grau de refinação ótimo.

Antes da pasta celulósica ser refinada industrialmente sua curva de refinação, que consiste no número de rotações do motor versus grau de refinação, é construída em laboratório empregando um dos vários equipamentos existentes para tal, sendo o Refinador PFI um deles.

O Refinador PFI é o refinador de escala laboratorial, mais utilizado atualmente. É constituído por um rotor, um recipiente de refinação com tampa e um dispositivo para exercer a pressão de refinação (força de refinação por unidade de comprimento da barra). Seus elementos de refinação são fabricados com aço inoxidável e seu rotor e o recipiente giram sobre eixos verticais^[2]. As **Figuras 1 e 2** apresentam fotos deste refinador.



Figura 1: Foto do refinador PFI



Figura 2: Detalhe do rotor e recipiente de refinação

No equipamento PFI, a pasta celulósica pode ser refinada a vários graus de refinação, sendo que variáveis como a afiação das lâminas do refinador, pressão do rotor sobre o recipiente e procedimentos operacionais exercem influência sobre o grau de refinação obtido e também sobre o estado físico final das fibras (fibras cortadas, fibras desfibriladas, etc.).

Devido às inúmeras variáveis envolvidas no processo de refinação com o PFI, sua calibração mecânica é complexa. Junta-se a isto a dificuldade de se ter uma pasta padrão para sua calibração, devido a celulose ser um produto extraído de vegetais e estar sujeita às variações de produtos naturais, além das variáveis dos processos de sua obtenção. Entretanto, é importante para um laboratório conhecer o desempenho de seu refinador, assim como ele se enquadra perante outros.

Os parâmetros normalmente considerados para o controle da refinação são o número de revoluções, a energia empregada na refinação, o grau de refinação e as propriedades de resistência da folha formada com a pasta refinada.

O objetivo deste trabalho foi verificar dentre estes parâmetros qual ou quais melhor representam a refinação efetuada. Para tal foi aplicado um programa interlaboratorial, envolvendo 10 laboratórios.

MÉTODO

No programa interlaboratorial o laboratório participante recebeu duas amostras de pasta celulósica, acondicionadas em sacos plásticos, denominadas A e B respectivamente. As amostras A e B eram semelhantes, sendo pastas celulósicas sulfato branqueadas, procedentes de eucalipto.

Cada laboratório refinou as amostras de pasta celulósica em três graus de refinação pré-definidos, aproximadamente, 30°SR, 40°SR e 50°SR, devendo:

- determinar o grau de drenabilidade Schopper-Riegler da amostra não refinada;
- refinar a amostra em refinador PFI nos graus de refinação pré-definidos;
- anotar o número de revoluções de cada refinação e enviar ao IPT;
- determinar o grau de drenabilidade Schopper-Riegler das amostras refinadas ;
- formar folhas de 60g/m² com a amostra não refinada e, respectivamente, com as refinadas;
- enviar as folhas formadas para o IPT realizar os ensaios de resistência à tração, resistência ao rasgo e gramatura, e determinar os índice de tração e rasgo.

Dentre os parâmetros físicos normalmente utilizado para determinar a resistência de folhas formadas em laboratório, optou-se pelos índices de tração e rasgo, por serem eles os mais utilizados na determinação da resistência de um papel.

As normas seguidas foram as constantes na **Tabela 1**.

Tabela 1: Normas empregadas pelo IPT

Ensaio	Norma
Pasta celulósica - Refinação em laboratório - Método PFI	NBR 14345:2004
Pasta celulósica - Determinação da resistência à drenagem pelo aparelho Schopper-Riegler	NBR 14031:2004
Pasta celulósica - Preparação de folhas em laboratório para ensaios físicos - Método do formador de folhas convencional	NBR14479:2002
Pasta celulósica - Determinação das propriedades físicas em folhas formadas em laboratório	NBR 14527:2002

Para cada amostra, o IPT construiu uma curva de refinação com quatro pontos: o ponto zero (sem refino) e mais os três graus de refino, considerando o número de revoluções, os índices de tração e rasgo em relação ao grau SR°. Foram obtidas equações para cada curva e a partir destas interpolado os valores para 38SR°.

O valor de 38°SR foi escolhido por ser um valor de grau de refinação largamente usado em indústria, principalmente naquelas que fabricam papel para imprimir e escrever.

As amostras encaminhadas aos participantes procediam de pastas de mercado, ou seja, de fabricação industrial, e foram preparadas e manuseadas de modo a apresentarem a mesma variabilidade, para que a diferença de resultados entre participantes não fosse devido à variações de amostras.

Para a aplicação do programa laboratorial foi seguida as recomendações da ABNT ISO/IEC Guia 43.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A **Tabelas 2** apresenta os resultados obtidos pelos laboratórios e as **Figuras 3 a 8** as curvas de refinação.

A **Tabela 3** apresenta os valores de interpolação para 38°SR, do número de revoluções e índices de tração e rasgo.

Para uma melhor visualização, as **Figuras 9 a 11**, apresentam em gráfico de barras os valores interpolados para 38°SR para o número de revoluções e índices de tração e rasgo.

Tabela 2: Avaliação de refinação – Refinador PFI

Laboratório	Amostra A				Amostra B			
	Nº de revoluções	ºSR	Índice de tração (N.m/g)	Índice de rasgo (mN.m ² /g)	Nº de revoluções	ºSR	Índice de tração (N.m/g)	Índice de rasgo (mN.m ² /g)
1	0	15,25	8,96	1,83	0	16,5	7,14	1,41
	5200	35,25	65,53	10,12	5000	36,0	55,28	9,89
	6500	41,75	69,48	10,53	6000	41,0	68,77	9,95
	7600	48,0	75,69	9,84	7400	51,0	72,67	10,08
2	0	17,0	13,07	3,34	0	17,0	15,39	3,33
	2500	29,0	66,38	12,83	2600	31,0	59,56	11,96
	3900	40,0	70,94	11,46	3800	41,0	57,85	10,72
	5100	52,0	76,81	11,21	4400	51,0	72,89	10,66
3	0	18,5	9,41	2,69	0	19,0	10,43	2,82
	3200	30,0	55,03	9,46	3000	31,5	51,43	9,63
	4800	40,0	65,85	10,22	4300	41,0	62,80	9,96
	6000	49,5	72,4	10,2	5300	49,0	72,13	10,15
4	0	16,8	10,19	2,13	0	17,3	10,98	2,50
	2800	27,7	52,12	10,17	2400	26,6	46,48	10,10
	4500	38,0	66,2	11,18	4500	40,9	65,58	11,04
	6500	51,8	72,69	10,67	6000	52,8	72,88	10,27
5	0	15,0	9,02	2,4	0	16,0	16,97	3,51
	2000	26,0	47,66	9,28	2000	29,0	62,72	12,16
	3500	35,0	62,29	10,68	3500	39,0	63,51	10,29
	6000	53,0	72,02	11,08	6000	59,0	40,40	10,88
6	0	18,0	12,5	2,07	0	18,5	13,38	2,74
	2900	32,0	57,11	10,18	2450	31,0	56,87	9,42
	4000	41,0	66,46	9,67	3500	40,5	65,03	9,87
	5000	51,0	74,59	10,3	4500	51,0	71,77	10,49
7	0	18,0	14,83	3,06	0	18,5	14,43	2,76
	3150	31,0	59,66	9,83	2400	29,0	56,96	8,98
	4600	38,5	67,76	10,3	4150	40,0	69,71	9,73
	5980	51,0	77,56	10,42	5100	50,0	72,55	10,00
8	0	17,3	10,49	2,35	0	17,2	11,85	2,68
	2800	29,0	53,27	10,81	2500	28,6	52,69	9,28
	4500	40,5	65,89	10,68	4500	43,2	69,38	10,31
	6000	53,9	76,81	10,82	5300	49,0	70,14	10,29
9	0	17,0	7,35	1,67	0	16,0	7,14	1,46
	6500	28,0	52,6	8,84	6500	29,0	53,11	9,67
	11000	42,0	64,86	10,5	11000	39,0	72,78	10,29
	14000	49,0	74,54	10,04	14000	51,0	72,79	10,86
10	0	18,3	9,99	2,2	0	18,3	10,76	2,05
	2500	29,8	44,38	7,67	2100	29,8	52,13	9,12
	3800	39,6	52,91	7,79	3700	41,6	67,36	10,09
	4800	48,4	56,5	8,15	4700	50,1	81,11	10,08

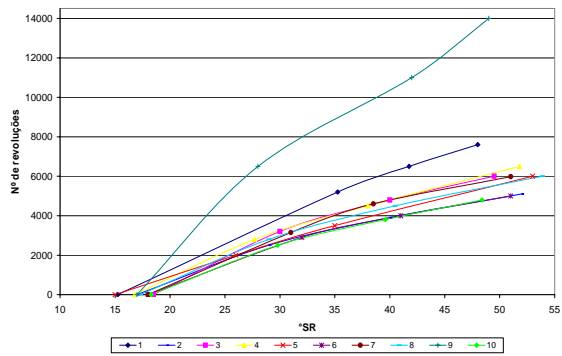


Figura 3: Curva de refinação – Amostra A

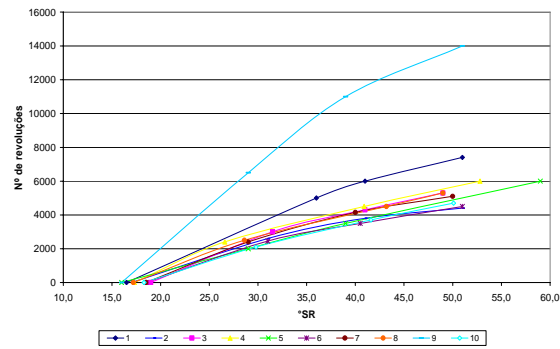


Figura 4: Curva de refinação – Amostra B

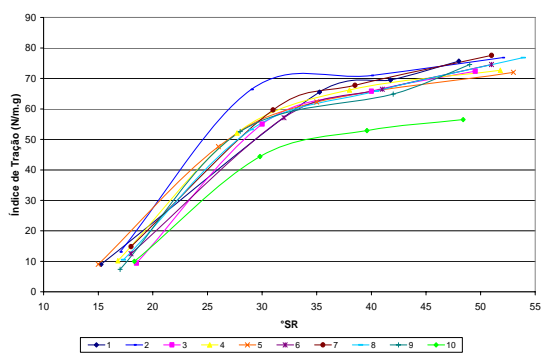


Figura 5: °SR em relação ao índ. de tração – Amostra A

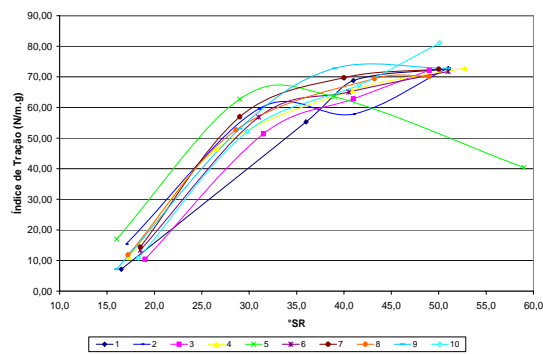


Figura 6: °SR em relação ao índ. de tração – Amostra B

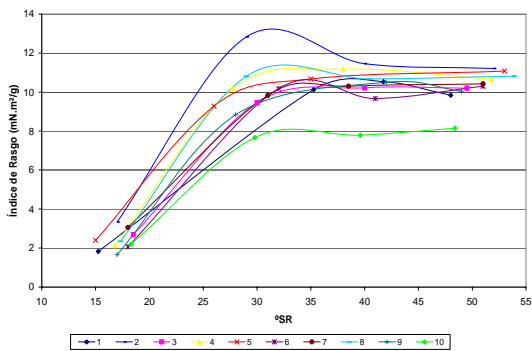


Figura 7: °SR em relação ao índ. de rasgo – Amostra A

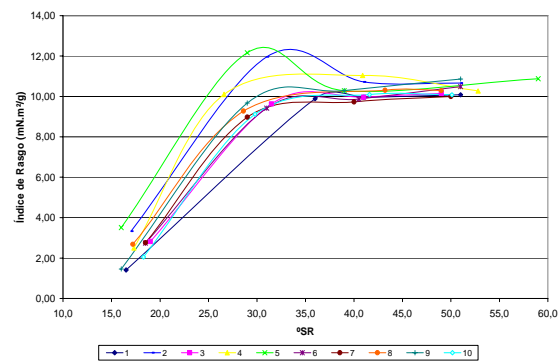


Figura 8: °SR em relação ao índ. de rasgo – Amostra B

Tabela 3: Resultados interpolados para 38°SR

Labora- tório	Amostra A			Amostra B		
	Nº de revoluções	Índice de tração (N.m/g)	Índice de rasgo (mN.m ² /g)	Nº de revoluções	Índice de tração (N.m/g)	Índice de rasgo (mN.m ² /g)
1	5773	68,21	10,45	5420	62,90	9,86
2	3683	71,55	13,77	3352	56,19	12,24
3	4529	65,80	8,04	3929	59,94	12,64
4	4500	67,32	11,04	4156	64,45	13,78
5	3952	63,55	11,36	3354	63,06	8,91
6	3671	65,78	8,34	3258	60,03	9,89
7	4513	70,07	10,43	3888	63,27	9,08
8	4189	64,15	11,62	3839	68,11	10,38
9	9730	62,40	10,92	10611	71,73	10,95
10	3614	53,23	9,33	3253	62,42	10,76

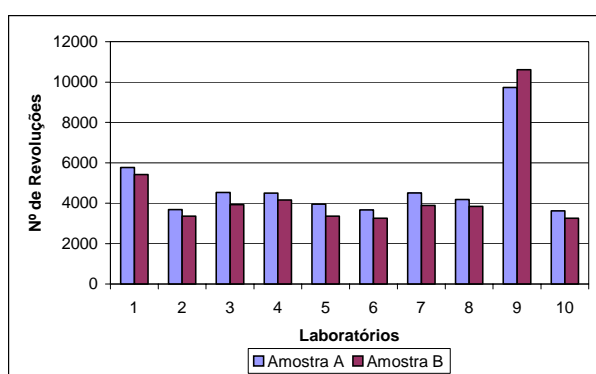


Figura 9: Número de revoluções - Resultados interpolados para 38°SR

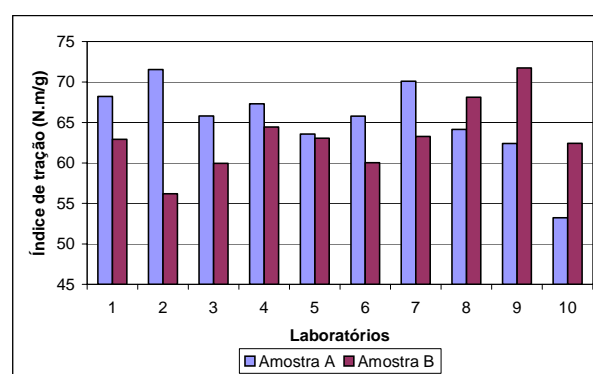


Figura 10: Índice de tração - Resultados interpolados para 38°SR

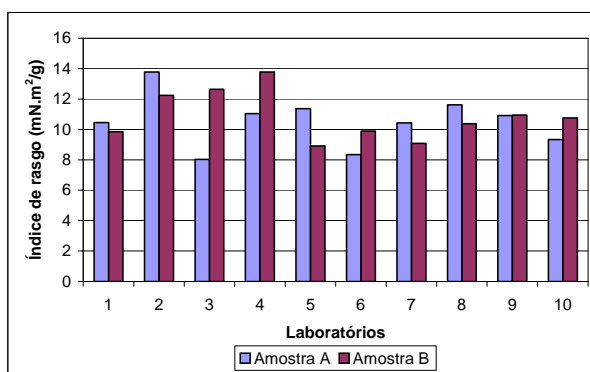


Figura 11: Índice de rasgo - Resultados interpolados para 38°SR

Através dos dados e gráficos apresentados, é possível perceber diferenças significativas entre as curvas de refinação dos diversos laboratórios. Para um mesmo número de revoluções do refinador PFI, os laboratórios obtêm diferentes valores de resistência à drenagem.

Por exemplo, se quisermos obter uma pasta celulósica com 38°SR, o laboratório 1 deve submeter a amostra a cerca de 5.700 rotações, enquanto que o laboratório 10 precisa de apenas cerca de 3.600 rotações. Isto significa que o laboratório 1 está gastando mais energia para refinar a sua amostra do que o laboratório 10 e o refinador deve ter características diferentes, como, por exemplo, a afiação das lâminas.

Os dados da **Tabela 2** permitem observar que os resultados de grau de refinação Schopper-Riegler da amostra não refinada apresenta variações, provavelmente devido à erros na determinação deste ensaio, já que a mesma variabilidade foi garantida em todas as amostras.

Quando se analisa estes dados aplicando um método de verificação de desempenho de laboratórios, com eliminação de valores dispersos e construção do gráfico de Youden^[3], verifica-se que nenhum dos laboratórios apresenta erros aleatórios, apenas sistemáticos.

Este método baseia-se na média de consenso dos resultados obtidos pelos laboratórios. Para cada ensaio, considerou-se o conjunto de resultados enviados pelos participantes e por meio de gráficos de quartis eliminou-se os valores cujas distâncias ao primeiro ou terceiro quartis foram maiores que 1,0 vez o intervalo interquartilico. Com os valores restantes obteve-se a média de consenso. O gráfico de Youden é obtido usando como parâmetro as médias de consenso das amostras A e B. Basicamente, esse gráfico consiste em um círculo, cujo raio é calculado a partir da variabilidade total da medição, dada pelo valor do desvio padrão. Na aplicação deste método os valores dos laboratórios 1 e 5 são dispersos em relação ao conjunto e não entraram na determinação da média de consenso.

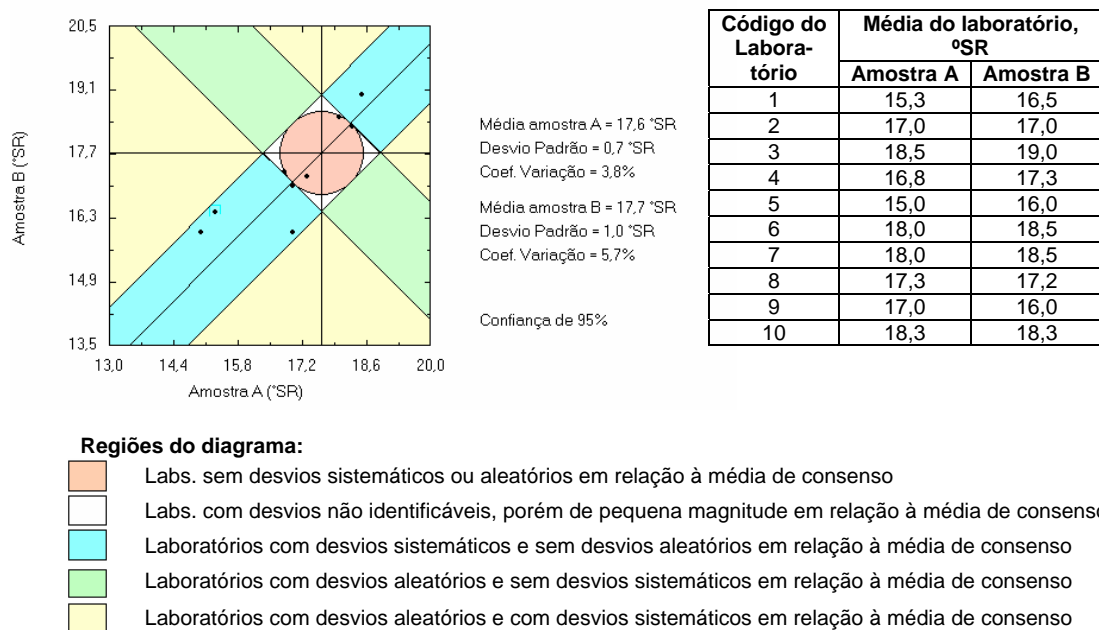


Figura 12: Gráfico de Youden para °SR no ponto zero

Como o procedimento de refino foi realizado pelo mesmo operador, no mesmo equipamento, pelos laboratórios e os ensaios para determinação dos índices de tração e rasgo de todos os laboratórios foram realizados pelo mesmo técnico no IPT, considera-se que os erros foram minimizados, restando somente aqueles intrínsecos ao equipamento e ao procedimento.

Assim, evidencia-se que, a existência de possíveis erros na determinação do °SR pode levar a um deslocamento no eixo X (aumento ou diminuição no °SR), mas não a uma alteração no ângulo de inclinação das curvas (erros na determinação do número de revoluções, índice de tração e índice de rasgo) apresentadas nas Figuras 3 a 8.

CONCLUSÕES

Considerando os parâmetros, número de revoluções, grau de refinação Schopper-Riegler e propriedades físicas (índice de tração e rasgo), todos apresentam problemas específicos quando são empregados de modo isolado para avaliar o desempenho do refinador.

O número revoluções não é um bom parâmetro, pois pelos resultados da interpolação para 38°SR verifica-se que ele apresenta uma variação muito grande entre laboratórios, podendo pequenas

diferenças na afiação de facas e na pressão das barras contra a parede da panela, levar à resultados significativamente diferentes.

A determinação da resistência à drenagem é um ensaio simples, rápido e de baixo custo. No entanto, deve-se observar que esta é uma medida da resistência que uma camada de fibras exerce sobre a passagem de água e, portanto, se esta camada possuir muitas fibras cortadas, a resistência será maior, devido ao preenchimento dos espaços vazios. O mesmo acontecerá se a refinação levar a uma absorção maior de água pelas fibras, aumentando seu diâmetro. Portanto, pode-se, por exemplo, obter o mesmo $^{\circ}\text{SR}$ com pastas celulósicas com fibras muito cortadas ou com fibras bem refinadas, que formam folhas com características físicas bastante diferentes.

Quando se analisam os dados da **Tabela 3**, o laboratório 1 possui um índice de tração maior que o laboratório 10, para um mesmo $^{\circ}\text{SR}$. Estes valores confirmam que as fibras das amostras do laboratório 10 podem estar mais cortadas que as do laboratório 1, apresentando propriedades físicas de resistência inferiores.

Os índices de tração e rasgo não constituem medidas diretas, sendo influenciados pela formação da folha. Neste trabalho procurou-se minimizar a influência dos erros advindos da determinação de resistência à tração, rasgo e gramatura realizando estes ensaios no IPT, por um mesmo técnico e empregando o mesmo equipamento. Assim, as diferenças encontradas nos índices de tração e rasgo são, principalmente, devido ao processo de refinação.

Outro parâmetro citado para representar a refinação é a energia. Existem diversas teorias que procuram caracterizar a intensidade do refino, entre elas o fator $C^{[4]}$ e a teoria da carga específica de borda $^{[4]}$, onde a quantidade de refino é descrita pela avaliação da energia específica de refino (SRE) e carga específica de borda (SEL). No entanto, a aplicação do controle deste parâmetro é complexa, demorada e de certo modo dispendiosa, o que dificulta a sua utilização.

Pelo exposto, pode-se concluir que, o parâmetro mais simples para representação do refino seria a determinação da drenabilidade, no caso, o $^{\circ}\text{SR}$. Porém, considerar apenas este parâmetro não é suficiente para analisar o processo de refinação. Ele deve ser complementado com algum ensaio de resistência, mesmo sabendo que para tal uma nova operação é introduzida, a de formação de folha, que certamente exerce influência no resultado final.

BIBLIOGRAFIA

1. Glossário - Fabricação do papel (português-português). Disponível em: <<http://www.celuloseonline.com.br/pa-gina/pagina.asp?iditem=170#R>>. Acesso em 2/5/2005.
2. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 14345:2004 - Pasta Celulósica – Refinação em laboratório – Método PFI*.
3. D'ALMEIDA, M. L. O.; KAWAUCHE, T.M.T.; NEVES, J. M.; PEDROSO DE LIMA, A. C.; SINGER, J. M.. Software para Programas Interlaboratoriais. Controle & Instrumentação, São Paulo, v. 7, p. 70-73, 2003.
4. LUMIAINEN, J.; Refining of chemical pulp. In: PAULAPURO, H. Papermaking science and technology. Book 8: Papermaking Part 1, Stock Preparation and Wet End. Helsinki: Finnish Paper Engineers' Association and Tappi Press, 2000. 1 CD-ROM.
5. D'Almeida, M.L.O. (Coord.). *Celulose e Papel - Tecnologia de fabricação do papel*. 2.ed. São Paulo : SENAI/IPT, 1988. v.2. (IPT - Publicação, 1777).
6. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR ISO/IEC 17025:2001 - Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração*.
7. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *ABNT ISO/IEC Guia 43-1 - Ensaio de proficiência por comparações interlaboratoriais Parte 1: Desenvolvimento e operação de programas de ensaios de proficiência*.
8. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *ABNT ISO/IEC Guia 43-2 - Ensaio de proficiência por comparações interlaboratoriais. Parte 2: Seleção e uso de programas de ensaios de proficiência por organismos de credenciamento de laboratórios*.