

# PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE POLPAS KRAFT COM NÚMEROS KAPPA 45 E 55 DESTINADAS A FABRICAÇÃO DE PAPEL SACKRAFT DE BAIXA GRAMATURA

Autores\*: Claudiomar Andrades<sup>1</sup>  
Eduarda de Magalhães Dias Frinhani<sup>1</sup>

## RESUMO

Os resultados da pesquisa apresentados neste estudo visam avaliar a viabilidade de aumento do número kappa de 45 para 55 de polpas kraft de *Pinus taeda*, destinadas à produção de embalagens flexíveis de papel de baixa gramatura. O rendimento observado para o número kappa 55 apresentou aumento de 1,5%, e consequente aumento do teor de astilhas, condição que pode ser contornada no processo de depuração. A resistência ao rasgo entre as polpas kappa 45 e kappa 55 não diferiu. Os valores de tração e de resistência à passagem de ar decresceram com o aumento do número kappa, demandando maior refino para aumento dessas propriedades. Os resultados indicam que a polpa kappa 55 pode ser empregada na produção de papéis para sacarias leves, mantidas as exigências de características associadas a esses produtos.

**Palavras-chave:** celulose kraft, número kappa, propriedades, rendimento, sackraft.

## ABSTRACT

Results of the survey presented in this study aim at evaluating the feasibility of increasing from 45 to 55 the kappa number of *Pinus taeda* kraft pulp meant for the production of flexible packaging with low grammage paper. The yield observed for kappa number 55 increased by 1.5%, with consequent increase in shives content, condition that could be handled in the screening process. The tear resistance did not differ between pulps kappa 45 and 55. Tensile strength and airflow through sheet values decreased with the increased kappa number, requiring a higher refining action to recondition these properties. The results indicate that kappa 55 pulp can be used for the production of low weight sacks paper, being suitable for the demands associated with this class of products.

**Keywords:** kappa number, kraft pulp, physical properties, pulp yield, sackraft.

## INTRODUÇÃO

O papel kraft natural produzido a partir da celulose kraft marrom e empregado na confecção de sacos corresponde a mais da metade do volume destinado a aplicações em sacarias. O mercado interno teve grande incremento no consumo deste papel de 2006 a 2010, alcançando aumento de 5 kg/habitante em cinco anos. Esses volumes continuaram a ter crescimento nos anos de 2011 e 2012 (BRACELPA, 2012, p. 19-22).

Papéis kraft para sacos são geralmente fabricados com gramaturas de 30 a 200 g/m<sup>2</sup>, e sua principal característica é a alta resistência mecânica. Distinguem-se variedades como kraft branco (polpa branqueada) e kraft para sacos multifoliados (folha de 80 a 90 g/m<sup>2</sup>, em geral de papel extensível (RAZZOLINI, 1994, p. 12). Os dados apresentados pela Bracelpa a partir de 2006 mostram o crescimento do segmento, uma tendência que vem acompanhando o aquecimento da demanda do mercado.

Billerud (2012, p. 21) aponta uma série de vantagens em se desenvolver e operar com papéis tipo sackraft de menor gramatura, tais como: menor custos de transporte das bobinas; menos papel por saco (melhor rentabilidade); menos papel em estoque por milhão de sacos produzidos (menos capital em estoque); menos trocas de rolos na produção e na conversão; mais sacos por palete (redução dos custos de transporte); enchimento mais rápido graças a uma melhor porosidade total.

Os papéis destinados a fabricação de embalagens flexíveis são produtos que apresentam, como principais propriedades, a elevada resistência à tração, ao arrebentamento e ao rasgo. Essas propriedades físico-mecânicas – juntamente com a gramatura, espessura e umidade – conferem a esses papéis os quesitos de qualidade necessários para bem atender as finalidades a que se destinam. (ABTCP, 1994, p. 29)

Impressão e aparência também são aspectos que conferem

---

### \* Referências dos autores:

1. Universidade do Oeste de Santa Catarina (Unoesc) – Joaçaba – SC – Brasil

E-mails dos autores: claudiomarandrades@gmail.com  
eduarda.frinhani@unoesc.edu.br

qualidade à sacaria. A maioria dos sacos de papel é impressa na camada exterior. A principal razão para a impressão dos sacos industriais é a identificação do conteúdo, mas há crescente demanda por mais informações e melhor aparência, uma vez que elevada qualidade de acabamento é fator importante para o comércio (BILLERUD, 2012, p. 25).

A celulose marrom destinada à produção de papéis sackraft, ou seja, papéis para sacos, deve possibilitar o desenvolvimento de propriedades de flexibilidade e resistência, sendo usualmente avaliados os parâmetros de resistência à tração, TEA (Tensile Energy Absorption - ou energia absorvida durante o tracionamento), resistência à passagem do ar e resistência ao rasgo (HART *et al.*, 2011).

Para o desenvolvimento destas propriedades, fibras mais preservadas, de número kappa mais alto, ampliam a gama dos recursos disponíveis no preparo de massa, consentindo melhor controle e obtenção do grau de refino adequado ao aproveitamento do potencial de resistência do papel (rasgo, arrebentamento, tração e alongação) (HART *et al.*, 2011).

O processo de cozimento kraft oferece numerosas vantagens sobre outros processos de polpação (HART, 2006), principalmente pela qualidade da polpa obtida e sua alta eficiência em demanda de químicos e energia. Contudo, pressões ambientais, somadas à necessidade de melhores rendimentos, têm incentivado o estudo de ulteriores melhorias deste processo.

Processos competitivamente modernos vêm realçando a importância do rendimento na produção de celulose kraft como um dos principais parâmetros de avaliação de sua eficiência. Segundo Miranda (2001, p. 1), são várias as alternativas propostas para aumentar o rendimento da polpação kraft, sendo o aumento do número kappa fator capaz de melhorar rendimento e qualidade da polpa, com redução do consumo de reagentes químicos e energia.

Número kappa mais alto é o meio mais direto de moderar custos da madeira, por representar aumento do rendimento total ao longo da linha de fibras. A simples elevação do número kappa no digestor aumenta o rendimento em celulose de 0,2% a 0,4% por unidade kappa (HART, 2006, p. 3).

Segundo Neuberger (2008), "o objetivo do processo kraft é obter um número kappa estabelecido. Devido a diferenças na madeira, haverá sempre algumas variações no resultado do cozimento." Vários fatores podem determinar o número kappa de uma polpa, incluindo o tempo de cozimento, a concentração de álcali (medida pelo álcali ativo ou efetivo), a sulfidez e a temperatura.

A relação entre rendimento do digestor e número kappa é limitada pelo teor de rejeitos, que aumenta à medida que o número kappa se eleva. Evidentemente, o nível real de rejeitos também depende da composição da massa, da qualidade dos cavacos e do processo específico de cozimento (HART, 2006, p. 3).

Para avaliação de características e propriedades, a vinculação com número kappa é um dos principais levantamentos realizados em polpa celulósica. Pesquisa feita com folhas de fibras marrons de madeiras duras utilizadas para a determinação de propriedades físicas,

mostrou que no intervalo de números kappa testados - faixa de 40 a 60) não houve diferença significativa que pudesse ser determinada para o índice de rasgo. (HART *et al.*, 2011).

Tal como aconteceu com a resistência à tração no estudo de Hart *et al.*, (2011), foi observada uma ligeira diminuição na resistência ao ar com o aumento do número kappa. A menor resistência a passagem do ar pode ser indicação de folhas menos compactadas com o aumento do número kappa, embora as densidades das folhas fossem todas muito semelhantes.

Este estudo teve como objetivo comparar as propriedades físico-mecânicas de polpas kraft kappa 45 e kappa 55, destinadas à produção de papéis sackrafts leves, com polpa com kappa mais alto que o tradicional em linha de produção integrada de celulose e papel. Além da qualidade físico-mecânica, os papéis fabricados devem também apresentar atributos de aparência - superfície livre de astilhas ou rejeitos - e permitir a manutenção da produtividade, esta indicada pela velocidade da máquina de papel, não interferindo em sua capacidade de secagem.

## MÉTODOS

Este estudo teve desenvolvimento em uma empresa brasileira com linha integrada de polpa marrom fibra longa destinada, de maneira geral, à produção de embalagens leves (sacos e sacolas) e aplicações em embrulhos e revestimentos. Anteriormente a este estudo com número kappa 55, que busca aumentar o rendimento da polpa, a companhia utilizava em seus papéis celulose marrom com número kappa 45.

Para os ensaios deste estudo foram empregadas amostras de celulose marrom fibra longa obtida de cavacos de *Pinus taeda*, polpa destinada à produção de papéis de baixa gramatura. No caso, o processo kraft utiliza digestores *batch* e as condições de cozimento eram: sulfidez base 24% e carga de álcali de 22% (expressa como NaOH); temperatura de 170 °C e Fator H da ordem de 800 para kappa 45 e fator H 650 para kappa 55. Após o cozimento, a sequência de produção consiste em depuração por depuradores de fendas e refinação de rejeitos.

Para a determinação do teor de rejeitos foram realizadas 15 provas para cada número kappa, com os ensaios distribuídos ao longo dos três meses do estudo. Foram coletadas seis subamostras após o tanque, com intervalos de 10 minutos, e formada uma amostra composta. O teor de rejeito da polpa foi determinado utilizando o equipamento Brecht Holl, com peneira classificatória com fendas de 0,2 mm, para determinação das frações de rejeitos e de celulose.

A lavagem após depuração é realizada em quatro estágios contracorrente, por filtros rotativos convencionais a vácuo. A eficiência da lavagem é controlada em função da perda de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> em kg/t de celulose, fator de diluição, temperatura da água e pH da celulose lavada.

Durante 75 dias, distribuídos ao longo de três meses, foram coletadas cinco amostras de celulose marrom lavada, e então utilizadas para a determinação das propriedades físicas e do número kappa. As análises foram realizadas no laboratório químico e de controle da qualidade da empresa produtora da celulose e papel.

A determinação das propriedades físico-mecânicas foi realizada utilizando folhas de laboratório com 100 g/m<sup>2</sup>. A observação visual das folhas analisou a presença de astilhas resultantes do cozimento. A mesma inspeção visual foi também aplicada em folhas formadas com polpa depurada. Os procedimentos foram:

- ensaios de resistência ao rasgo determinados conforme Norma ABNT NBR NM ISO 1974:2001 - *Papel - Determinação da resistência ao rasgo - Método Elmendorf*, com pêndulo modelo ED-1600;
- resistência à tração medida mediante Dinamômetro DI-2, conforme Norma ABNT NBR NM ISO 1924-2:2012 - *Papel e cartão - Determinação das propriedades de tração*;
- números kappa, mediante titulações laboratoriais, foram determinados conforme Norma ABNT NBR ISO 302:2005 - *Pastas celulósicas - Determinação do número kappa*;
- determinação de umidade da folha conforme norma ABNT NBR NM 105;
- medições da gramatura segundo a norma ABNT NBR NM-ISO 536;
- rendimento da polpa celulósica determinado uma vez por mês, durante três meses, para os dois valores de número kappa em análise.

Para cada teste, três pequenos cestos contendo amostras de cavacos foram posicionados nas partes superior, intermediária e inferior do digestor. Após o cozimento, as amostras foram retiradas, lavadas e depuradas, calculando-se, então, o rendimento médio sobre madeira seca.

Para a determinação da resistência ao ar empregaram-se folhas de 80 g/m<sup>2</sup>. O grau de refino para a fabricação dos papéis kappa 45 e 55 se situou em 15°SR. Os ensaios para determinação da resistência ao ar foram realizados segundo método Gurley, conforme Norma ABNT NBR NM ISO 5636-5:2006.

Para análise dos dados foi utilizada planilha eletrônica do Excel®, estabelecendo-se a organização estatística dos valores, desvios-padrão, médias, teste de Tukey para médias, classes e frequências de cada intervalo encontrado.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos resultados objetivou comparar o desempenho de celuloses fibra longa com números kappa 45 e 55 destinadas a fabricação de papéis com baixa gramatura, destinados à produção de sacarias leves.

A distribuição dos valores dos números kappa obtidos nos cozimentos para obtenção de polpas kappa 45 e 55 e a porcentagem de frequência relativa são apresentados na **Figura 1**.

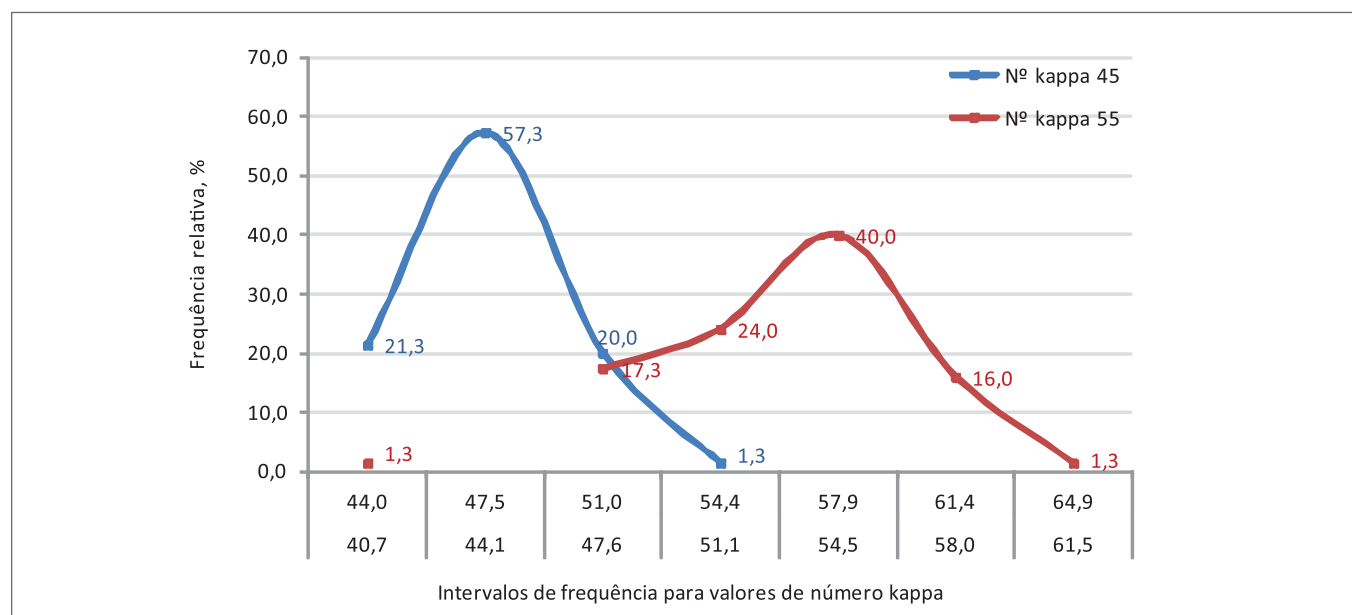
As médias dos valores de kappa 45 e 55 diferiram significativamente segundo teste de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ), considerando diferentes variâncias na comparação dos dois conjuntos de dados.

Conforme observado na Figura 1, quando o objetivo era produzir polpa kraft kappa 55 obteve-se valor médio de  $54,8 \pm 3,8$ , e observou-se maior dispersão dos valores em relação aos valores obtidos para kappa 45 ( $45,6 \pm 2,45$ ). Este fato pode estar associado ao processo recente de produção de polpa kappa 55, que demanda maior necessidade de ajustes para estabilização e obtenção do kappa desejado.

Na tentativa de obter kappa 55 constatou-se que 16% dos dados se situaram entre kappa 58 e 61, demonstrando uma margem de ajuste quanto a melhor aproveitamento da matéria prima.

Foi necessário adequar as etapas de depuração e lavagem para as condições necessárias à produção de polpa kappa 55 aplicando-se maiores taxas de rejeitos e de energia específica de refino, para redução do teor de astilhas, procurando garantir a qualidade da celulose para a fabricação de papel equivalente àquela do período anterior, quando era produzida celulose kappa 45.

As condições obtidas com o aumento do número kappa permitiram alcançar aumento de rendimento de 1,5%, sendo este um fator determinante para a competitividade do processo kraft. Este incremento em rendimento representa menor consumo de matéria prima. Para cada tonelada de celulose kappa 45 com rendimento médio de  $49,5 \pm 0,2\%$  são necessárias 2,02 toneladas de madeira, enquanto



**Figura 1.** Intervalos de frequência de números kappa obtidos nos cozimentos programados para polpas com números kappa 45 e 55



Figura 2. Folha de celulose com 100 g/m<sup>2</sup> e kappa 55 antes (esquerda) e após (direita) depuração

para kappa 55 com rendimento de 51,5% ± 0,1% a quantidade de madeira necessária é de 1,96 tonelada. O aumento em rendimento com produção de kappa 55 representa economia de 3% de cavaco seco da madeira empregada para a produção de uma tonelada de celulose no processo de produção analisado.

Associado ao maior rendimento, também se constatou redução do consumo dos químicos da polpação. A carga de álcali foi reduzida em 1%, e o tempo de cozimento reduzido em 8 minutos. A Figura 2 mostra as superfícies das folhas formadas com celulose kappa 55 antes e após depuração.

Em relação ao teor de astilhas, os ensaios mostraram aumento de material não desfibrado de 0,58% para 4,86%. O resultado confirma estudos de HART (2006, p. 3), que indicam que “os rejeitos geralmente aumentam à medida que o número kappa se eleva.” O aumento do rendimento com o aumento do número kappa produz, portanto, um teor de astilhas que exige maior taxa de rejeitos nos depuradores e aumento da refinação, considerando que as astilhas são “as partículas de madeira que não foram transformadas em polpa.” (SENAI, 2013, p. 104).

Ainda sobre este aspecto, a determinação de astilhas é parâmetro para avaliar a eficiência da depuração e da qualidade da polpa destinada à produção de papel sackraft de baixa gramatura. Billerud (2012, p.25) afirma que “a impressão de sacos industriais objetiva identificar o conteúdo, mas há uma crescente demanda por mais informações e melhor aparência, pois que elevada qualidade de acabamento é fator importante para o comércio.”

As determinações e distribuição dos resultados obtidos para a resistência ao rasgo (IR), assim como a porcentagem de frequência relativa, são apresentados na Figura 3.

As médias dos conjuntos de dados de resistência ao rasgo para kappa 45 (1,69 ± 0,75 gf.m<sup>2</sup>/g) e kappa 55 (1,68 ± 0,07 gf.m<sup>2</sup>/g) não diferiram significativamente segundo teste de Tukey para α = 0,05, considerando diferentes variâncias na comparação das duas sequências de resultados obtidos para essa propriedade. Os dados encontrados mostram que o comportamento dessa característica durante controle da produção está ligado mais diretamente à morfologia das células naturais, e, assim, os dados para kappa 55 se mantiveram adequados à produção de papéis de baixa gramatura.

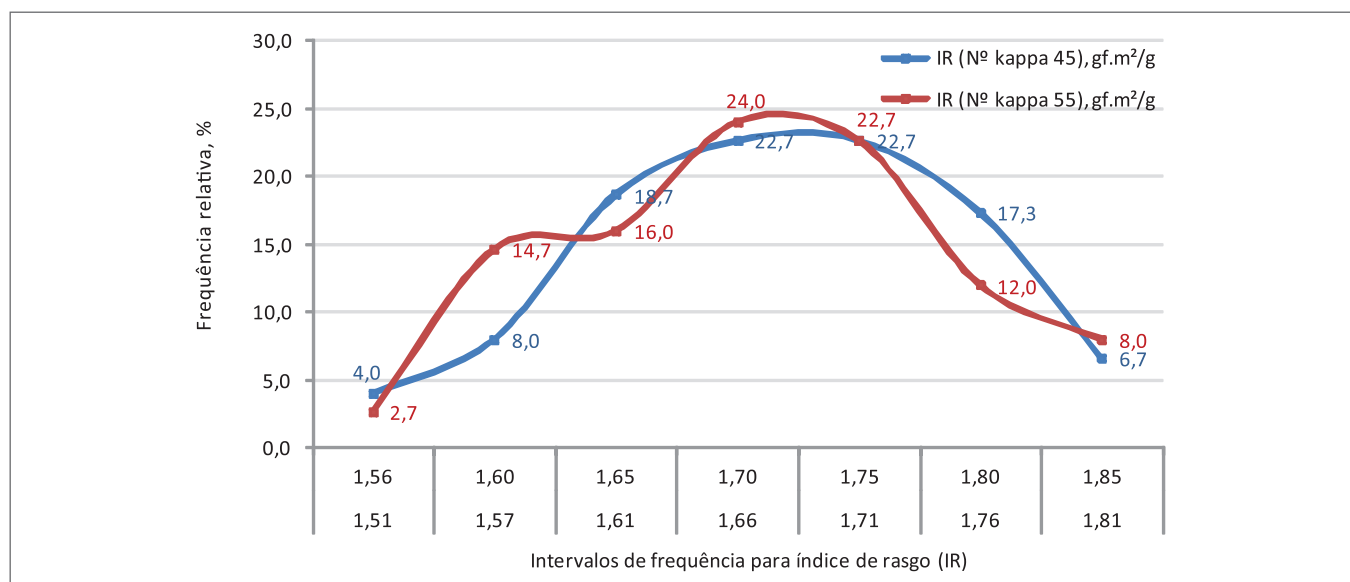
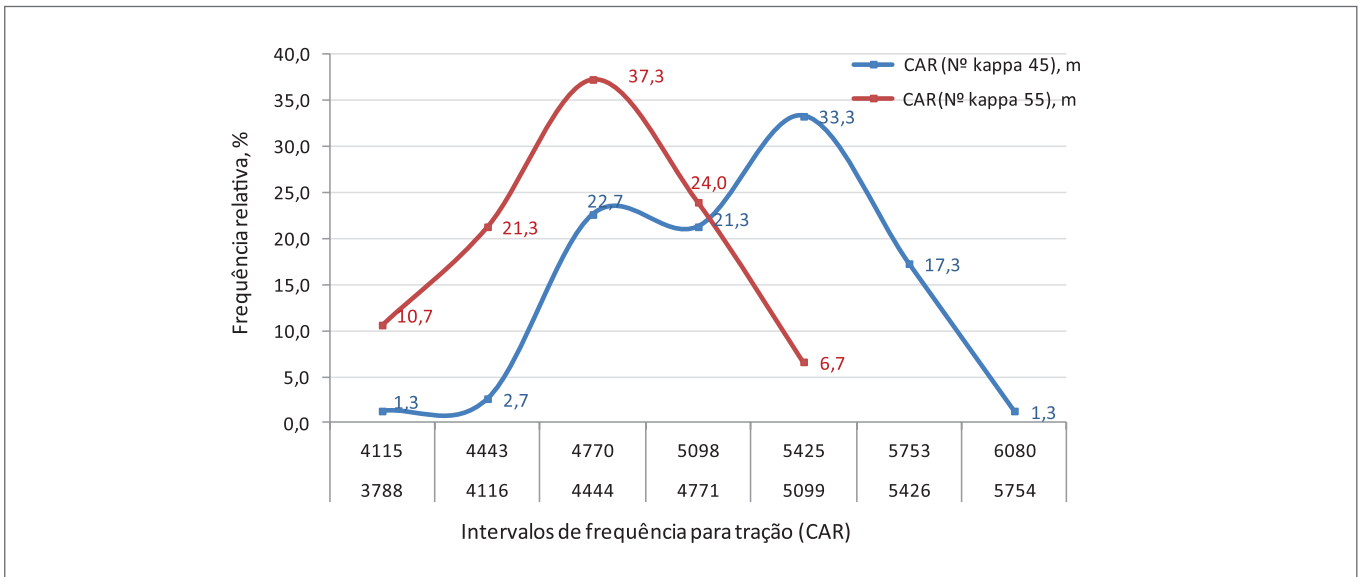


Figura 3. Distribuição dos valores de índice de rasgo (IR) das folhas de 100 g/m<sup>2</sup> com polpas kappa 45 e 55 e a porcentagem de frequência relativa



**Figura 4.** Distribuição dos valores de resistência à tração (CAR - comprimento de autorruptura) das folhas de 100 g/m<sup>2</sup> para as polpas números kappa 45 e 55 e a porcentagem de frequência relativa

A distribuição dos valores de resistência à tração e porcentagens de frequência relativa são apresentadas na **Figura 4**.

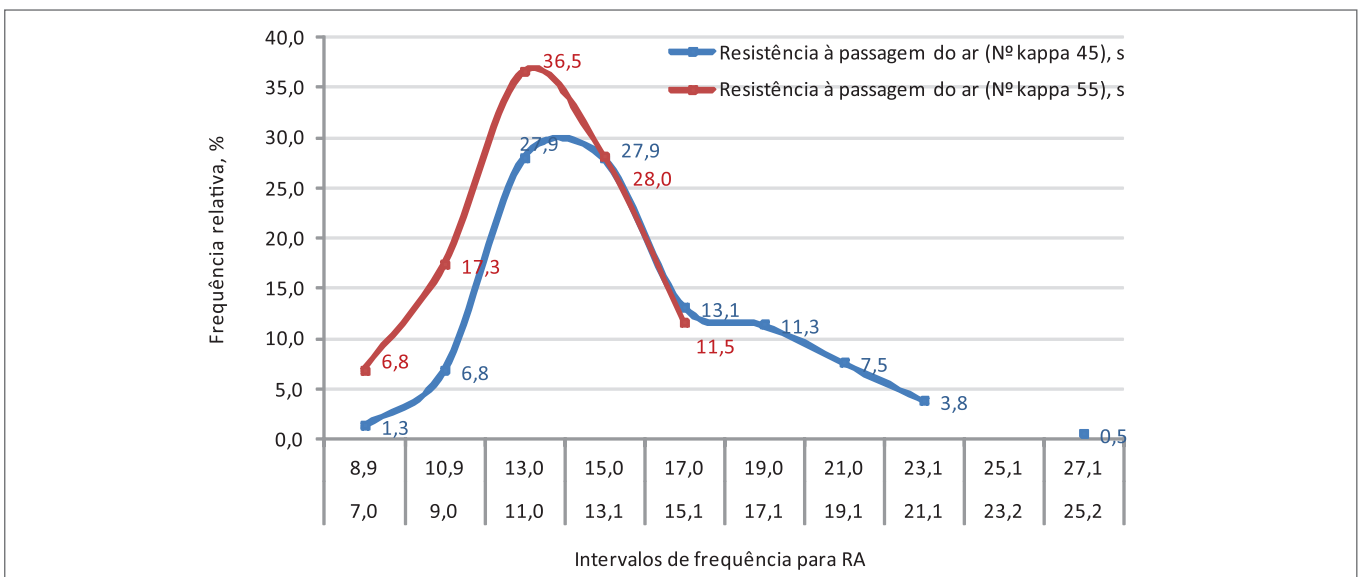
As médias dos conjuntos de dados de resistência à tração para polpas kappa 45 e 55 diferiram significativamente segundo teste de Tukey para  $\alpha = 0,05$ . Os dados para resistência à tração mostraram valor médio de  $5.065 \pm 398$  m para polpa kappa 45 e  $4.591 \pm 339$  m para a polpa kappa 55. Os dados mostram que a polpa com maior número kappa apresentou menor comprimento de autorruptura (CAR). Este comportamento da propriedade é explicado pela menor capacidade de ligação das fibras devido ao maior teor de lignina. Esta capacidade de ligação interfibras pode ser controlada durante a etapa de refino da polpa.

A melhoria da propriedade de resistência à tração, constatada com

ensaios de comprimento de autorruptura, demanda maior energia de refino, por ser necessária a remoção da parede externa das fibras que possui mais lignina.

Os valores de resistência à passagem do ar e a porcentagem de frequência relativa para as polpas 45 e 55 são apresentados na **Figura 5**.

Para testes de resistência ao ar das folhas com 80 g/m<sup>2</sup> obtiveram-se valores médios de  $14,5 \pm 3,3$  s para kappa 45 e  $12,4 \pm 2,1$  s para kappa 55. Ao comparar os dois conjuntos de dados, os números mostraram diferir significativamente segundo teste de Tukey  $\alpha = 0,05$ . Os valores de tração e resistência à passagem de ar decresceram, como foi possível observar nas Figuras 4 e 5, reforçando a relação entre essas propriedades e a menor ligação entre fibras consequente do aumento do número kappa.



**Figura 5.** Distribuição da resistência à passagem do ar das folhas com 80 g/m<sup>2</sup> das polpas kappa 45 e 55 e a porcentagem de frequência relativa



As folhas com gramatura 80 g/m<sup>2</sup> foram preparadas com celulose lavada e refinada na faixa de 13 a 15°SR. O baixo grau de refino da polpa antes da fabricação do papel permitiu avaliar a resistência ao ar para os diferentes números kappa.

## CONCLUSÕES

O aumento do número kappa de 45 para 55 na produção de polpa kraft destinada a sacaria leve proporcionou menor consumo de cavacos de *Pinus taeda* e de químicos, e, com isso, redução dos custos de produção de toda a cadeia.

O processo de produção de polpa com kappa 55 necessita de ajustes visando restrição da faixa de valores dos números kappa, uma

vez que 16% dos valores ficaram próximos ao número kappa 60, que constitui o limite superior do controle.

O aumento do número kappa tem como consequência o aumento do teor de astilhas, contudo, o tratamento com refino demonstrou não afetar a aparência das folhas formadas. Para a resistência à tração e resistência à passagem de ar o estudo aponta que pode haver necessidade de maior energia de refino, uma vez que são constatados valores menores para esta propriedade quando há aumento do número kappa. As características da polpa kraft marrom relacionadas a kappa 55 apontam ser possível empregar esta celulose para a produção de papéis destinados a sacarias leves, com atendimento aos padrões das propriedades associadas à estes produtos. ■

## REFERENCES

- ABTCP. *Técnicas de Fabricação de Papéis e Cartões para Embalagem*. São Paulo: Klabin Fabricadora de Papel e Celulose S.A., n. 21, 1994, p. 64.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR NM ISO 1974:2001 - *Papel - Determinação da resistência ao rasgo - Método Elmendorf*. Rio de Janeiro, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR NM ISO 1924-2:2012 - *Papel e cartão - Determinação das propriedades de tração*. Rio de Janeiro, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR NM ISO 5636-5:2006 - *Papel e cartão - Determinação da resistência à passagem do ar*. Rio de Janeiro, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR NM 105 - *Papel e cartão - Determinação da umidade - Método por secagem em estufa*. Rio de Janeiro, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR NM-ISO 536 - *Determinação da gramatura do papel e cartão*. Rio de Janeiro, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 302: *Papel e Cartão: Pastas Celulósicas: Determinação do número kappa*. Rio de Janeiro, 2005.
- BILLERUD. *Handbook for sack kraft papers and paper sacks*. Solna: Sweden: 2012. Disponível em: <[http://www.billerud.com/Documents/497-11130\\_handbok\\_E2\\_2\\_120425.pdf](http://www.billerud.com/Documents/497-11130_handbok_E2_2_120425.pdf)>. Acesso em 10/06/2014.
- BRACELPA. Dados do Setor: Dezembro - 2012. São Paulo: Bracelpa: 2012. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/estatisticas/booklet.pdf>>. Acesso em: 16 Jun 2014.
- HART, Peter; CONNELL, Daniel. *O efeito do número kappa do digestor na capacidade de branqueamento e rendimento de celulose de fibra longa EMCCTM*, O Papel, São Paulo: ABTCP, v. 67, n. 11, p. 2 -13, nov. 2006. Disponível em: <[http://www.revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1311963631\\_23bdb513652b7a571abced9c1f50955b\\_204570738.pdf](http://www.revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1311963631_23bdb513652b7a571abced9c1f50955b_204570738.pdf)>. Acesso em: 15 jun. 2014.
- HART, Peter, et al. *Impact of impregnation on high kappa number hardwood pulps*. Bio Resources, Raleigh: North Carolina State University, 6(4), p. 5139-5150, 2011. Disponível em: <[http://www.ncsu.edu/bioresources/BioRes\\_06/BioRes\\_06\\_4\\_5139\\_Hart\\_CAH\\_Impreg\\_High\\_Kappa\\_HW\\_Pulps\\_2229.pdf](http://www.ncsu.edu/bioresources/BioRes_06/BioRes_06_4_5139_Hart_CAH_Impreg_High_Kappa_HW_Pulps_2229.pdf)>. Acesso em: 15 jun 2014.
- MIRANDA, César Roberto. *Estratégia para Aumento de Rendimento na Produção de Polpa Kraft de Pinus SP - Polpação e Deslignificação com Oxigênio*. 4º Congresso Anual ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 10 p. (2001). Disponível em: <[http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/27\\_estrategia%20aumento%20rendimento%20polpacao%20pinus.pdf](http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/27_estrategia%20aumento%20rendimento%20polpacao%20pinus.pdf)>. Acesso em: 10 jun 2014.
- NEUBERGER, Reinaldo. *Boas Práticas de Operação para Redução de Odores na Produção de Celulose Kraft: Uma Abordagem Qualitativa*. 2008, 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade de Mauá, São Caetano do Sul, 2008.
- RAZZOLINI, Francisco César. *Técnicas de fabricação de papeis e cartões para embalagem*. São Paulo: ABTCP, 1994. Disponível em: <<http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/40-ABTCP.pdf>>. Acesso em: 10 jun 2014.
- SENAI. Celulose. São Paulo: SENAI-SP editora, 2013.