

## PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE PAPÉIS RECICLADOS UTILIZADOS PARA FABRICAÇÃO DE TUBETES

### PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF RECYCLED PAPERS USED FOR TUBE PRODUCTION

Marco Túlio Cardoso<sup>1</sup> Angélica de Cássia Oliveira Carneiro<sup>2</sup> Rubens Chaves de Oliveira<sup>3</sup>  
Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho<sup>4</sup> Wagner Patrício Júnior<sup>5</sup> Maria Cristina Martins<sup>6</sup>  
Rosimeire Cavalcanti dos Santos<sup>7</sup> Juliana Cristina da Silva<sup>8</sup>

#### RESUMO

O presente trabalho objetivou estudar, através de ensaios laboratoriais, as propriedades físicas e mecânicas de papéis reciclados utilizados para produção de tubetes. Para tanto se utilizou seis tipos de papéis com gramatura média de 400 g/m<sup>2</sup> e para os ensaios de laboratório seguiu-se os procedimentos da Technical Association of Pulp and Paper Industry. Verificou-se diferença significativa entre os papéis estudados quanto às características físicas e mecânicas, sendo que o papel Tipo A1 obteve, de modo geral, os melhores resultados, justificando seu alto preço no mercado. O papel A3 foi o de maior densidade, dado relevante para indústria de tubetes, já que estes são geralmente comercializados por peso. Conclui-se que todos os papéis estudados são indicados para produção de tubetes, devendo ser utilizados de acordo com as exigências do cliente, visto que o preço do papel é que determina, na maioria das vezes, o valor do tubete.

**Palavras-chave:** papel reciclado; reciclagem; tubetes de papel; propriedades de papel.

#### ABSTRACT

The present study investigated, through laboratory testing, the physical and mechanical properties of recycled paper used to produce tubes. To do so, we used six types of paper with a weight average of 400 g / m<sup>2</sup> and once the laboratory tests followed the procedures of the Technical Association of Pulp and Paper Industry. There was significant difference between the roles studied in terms of physical and mechanical characteristics, and the paper type A1 had, in general, the best results, justifying its high price in the market. The A3 has the highest density, the data relevant to industry tubes, since these are usually sold by weight. It is concluded that all of the studied papers are suitable for tube production, being used in accordance with the customer's demands, since the price of the paper is what determines, most of the time, the tube value.

**Keywords:** recycled paper; recycling; paper tubes; paper properties.

1. Engenheiro Florestal, Ms., Doutorando do Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Campus Universitário, CEP 36570-000, Viçosa (MG). mtulio\_cardoso@yahoo.com.br
2. Engenheira Florestal, Dr., Professora Adjunto do Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Campus Universitário, CEP 36570-000, Viçosa (MG). cassiacarneiro@ufv.br
3. Engenheiro Florestal, Ph.D, Professor Titular do Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Campus Universitário, CEP 36570-000, Viçosa (MG). rchaves@ufv.br
4. Engenheira Florestal, Dr., Professora Adjunto do Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Campus Universitário, CEP 36570-000, Viçosa (MG). ana.marcia@ufv.br
5. Engenheiro Florestal, Ms., Professor do ensino técnico e superior, Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, Campus Salinas, CEP 39560-000, Salinas (MG). wpatriciojr@yahoo.com.br
6. Bacharel em Turismo, Ms., Pesquisadora Projeto FAPEMIG/UFV, Universidade Federal de Viçosa, Campus Universitário, CEP 36570-000, Viçosa (MG). leteminas@hotmail.com
7. Engenheira Florestal, Dr., Coordenadora do projeto DCR UFRN/CNPq/FAPERN (2010/2012), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Campus Universitário, Universidade Federal de Viçosa, CEP 36570-000, Viçosa (MG). meire\_caico@yahoo.com.br
8. Engenheira Florestal, Ms., Universidade Federal de Viçosa, Campus Universitário, CEP 36570-000, Viçosa (MG). jcsfloresta@yahoo.com.br

Recebido para publicação em 08/09/2009 e aceito em 15/04/2011

## INTRODUÇÃO

A utilização de fibras secundárias para produção de papéis, para diferentes fins, vem crescendo rapidamente a cada ano, devido a fatores, principalmente, econômicos e ambientais.

Ambientalmente, a produção de papéis reciclados tem uma importante participação, pelo fato de diminuir o impacto ambiental de produção de lixo, retirando toneladas do que seria resíduo e transformando em um importante produto para a indústria nacional. Nesse ínterim, a reciclagem apresenta ainda a vantagem de demandar menor quantidade de energia e recursos hídricos além de poluir menos a atmosfera, o que atualmente é algo discutido por grandes autoridades mundiais, que visam à diminuição da emissão de gases de efeito estufa e a redução do aquecimento global.

Na atualidade do Brasil, um importante produto feito com papel reciclado são os tubetes de papelão, que são demandados em grande escala, sendo usados nas indústrias de plástico, papel, têxtil, produtos de higiene e, atualmente, empregados em construções civis, para formação de base civil, nicho para tubulação, passagem de eletroduto, etc.

Os tubetes são produzidos com um mesmo tipo de papel ou então seguindo uma receita, ou seja, com proporções estabelecidas de diferentes papéis reciclados.

Com vários produtos que utilizam o papel reciclado como matéria-prima, o Brasil está entre os maiores recicladores de papel do mundo, com uma taxa de recuperação de papéis recicláveis de 45% (BRACELPA, 2008).

Atualmente, em alguns países, a indústria de papel não conseguiria sobreviver sem as fibras recicladas (NAZHAD, 2004). Porém, alguns fatores ainda desaceleram a reciclagem, por exemplo, após a utilização, o papel a ser reciclado é inserido na cadeia produtiva, pagando os mesmos impostos do produto original, o que desestimula a indústria recicladora (PERECIN, 2005).

A reciclagem de papel é uma prática que gera uma série de vantagens econômicas, ecológicas e sociais para o ser humano, porém, no aspecto tecnológico, com os processos que envolvem a reciclagem, as fibras do papel têm sua estrutura original alterada e, conseqüentemente, suas propriedades.

As fibras recicladas, comumente chamadas de fibras secundárias, perdem qualidades importantes para produção de papel devido à perda de ligações

entre fibras, que por sua vez é causada, também, pelo fato de que, durante o processo de reciclagem, uma grande porcentagem das fibras é quebrada.

Segundo Law et al. (1996), as condições de polpação é fator determinante na qualidade de fibras recicladas, quando essas sofrem repetidas operações de secagem e reumedecimento, acarretando em endurecimento e, conseqüentemente, perda parcial seu poder ligante.

Para Cullinam (1993), citado por Castanho e Oliveira (2000), perda das hemiceluloses da superfície das fibras, durante o repolpeamento, é um fator que prejudica diretamente o potencial ligante das fibras, o que influencia diretamente nas propriedades de resistência do papel reciclado.

Para Neves (2000), a redução de propriedades intrínsecas da fibra como capacidade de ligação, flexibilidade e potencial de inchamento, está associada com um fenômeno irreversível de endurecimento e de hornificação das fibras, que ocorre durante a secagem.

Nesse contexto, é relevante compreender as conseqüências ocorridas nas fibras secundárias do papel reciclado, que as diferenciam das fibras virgens. Essas diferenças são essencialmente: aumento da drenabilidade; redução do comprimento médio das fibras; redução das propriedades de resistência do papel; aumento da opacidade; menor capacidade de estabelecer interações; menor capacidade de hidratação das fibras; menor flexibilidade das fibras; e redução de fibrilação (SPANGERBERG, 1993).

Contudo, o uso do papel reciclado apresenta várias vantagens ambientais e econômicas, porém, existem também muitas desvantagens devido ao aumento do número de contaminantes que são introduzidos no sistema. Estes contaminantes têm várias origens no processo de reciclagem do papel e não são removidos por processos convencionais, porque estão dissolvidos ou por encontrarem-se na forma de dispersão coloidal (BLANCO et al., 2001). O grau de contaminação e o tipo de contaminante têm influência em quase todos os custos do processo (SOARES, 2007).

### Propriedades dos papéis e a influência da reciclagem

De modo geral, além do próprio fato da reciclagem, o tipo de pasta, ou melhor, o processo de obtenção desta, tem bastante influência nas propriedades do papel, bem como a proporção de fibras de coníferas e folhosas e os ciclos de reciclagem.

Na fabricação do papel, ocorre um fenômeno chamado hornificação (CASTANHO e OLIVEIRA, 2000), que é resultante da eliminação da água dos espaços interfibrilares e que permite às fibras estabelecerem ligações inter e intrafibras, através de ligações de hidrogênio. A hornificação, resultado, então da histerese, causa perda de flexibilidade, permeabilidade e capacidade higroscópica da fibra secundária, gerando perdas em algumas propriedades do papel.

As propriedades de tração são importantes nas diversas utilizações do papel, dentre elas destacam-se: alongamento, índice de tração, energia absorvida em regime de tração, módulo de elasticidade, etc.

De acordo com Howard (1991), de modo geral ocorre diminuição do alongamento com o processo de reciclagem, ou seja, o papel perde parte da sua capacidade de ser distendido. Neste mesmo trabalho, Neves (2000), verificou redução nos valores de módulo de elasticidade para papéis reciclados.

Em relação ao índice de tração, os estudos comprovam que, geralmente, essa propriedade diminui com a reciclagem, porém, existem algumas peculiaridades. Ferguson (1992) mostra que pastas químicas sofrem redução de até 50% do valor original de resistência à tração, enquanto que pastas de alto rendimento sofrem uma variação menos intensa. No entanto, Bugajer (1976) mostrou que com refino de 50 °SR os valores de resistência à tração superam os valores originais, atingindo um ponto máximo no terceiro reciclo e voltando a cair a partir do quarto.

### **Fabricação dos tubetes**

Segundo a empresa Tubominas Indústria e Comércio Ltda. (TUBOMINAS, 2007), o processo de fabricação de tubetes de papelão reciclado é, em essência, um processo considerado pouco automatizado no Brasil, à exceção de empresas multinacionais que possuem máquinas com maior número de etapas automatizadas e ergonomicamente mais ajustadas. Esses tubetes são utilizados em diversas aplicações e setores da indústria: Têxtil, fabricação de papel, diferentes tipos de plásticos (filmes de polietileno, poliestireno, polipropileno, PVC etc.), construção civil, fitas adesivas etc., com consumo estimado de 10.000 toneladas/mês.

A máquina que fabrica os tubetes, comumente denominada tubeteira, é constituída de três partes principais: Porta-bobinas (estaleiro),

Coleiros principal e auxiliar e Sistema de corte. O papel utilizado em maior quantidade no processo é do tipo reciclado, sendo que esta matéria-prima pode ser fornecida no formato de bobinas (300 a 1.100 kg, geralmente) e no formato de rolos (também vulgarmente denominados discos e “bolachas”, com peso aproximado de 50 a 60 kg, quando adotada a largura de 100 mm, em algumas empresas adota-se maior largura dos rolos, com peso maior). A espessura do papel dita a espessura final do produto, considerando-se uma pequena contribuição do adesivo na espessura. Os rolos são depositados no porta-bobinas onde são tracionados por um conjunto de cabeçotes e correia no sentido do coleiro principal, onde é aplicado o adesivo. Normalmente, no processo de fabricação de tubetes, utiliza-se no coleiro principal adesivo a base de silicato de sódio ou dextrina (a base de fécula de mandioca). Essa aplicação pode ser feita por imersão ou “cascata”. O conjunto de cabeçotes e correia traciona o papel já impregnado com adesivo sobre um eixo (matriz) de diâmetro específico que ditará o diâmetro interno dos tubetes. O comprimento final dos tubetes pode ser definido diretamente na saída do produto, ou ser direcionado para o setor de acabamento, onde o tubo em “barra”, ou máster, vai ser subdividido em porções menores, com comprimento a critério do cliente, sendo que, nesse caso, há maior exigência da precisão do comprimento.

Os tubetes, depois de saírem da máquina, podem passar por processos adicionais como o processo de secagem em estufa, para redução forçada da umidade. Esse processo visa adequar o teor de umidade dos tubetes para clientes que exigem baixo teor de umidade, como no caso de fabricantes de papel.

O presente trabalho objetivou estudar, através de ensaios laboratoriais, as propriedades físicas e mecânicas de papéis reciclados utilizados para produção de tubetes.

### **MATERIAIS E MÉTODOS**

Foram utilizados seis tipos diferentes de papéis reciclados, com gramatura média de 400 g/m<sup>2</sup>, fornecidos pela Empresa TUBOMINAS INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA. Foram coletadas amostras da bobina de cada papel sem qualquer deformação evidente, tais como: dobras, rasgos, rugas, saliências, etc. Os papéis receberam a seguinte denominação: Tipo A1, A2, A3, A4, A5 e A6.

### Ensaio físicos e mecânicos

Para a execução dos testes físicos e mecânicos os papéis foram acondicionados de acordo com a norma da Technical Association of Pulp and Paper Industry (TAPPI) T 402 om-93 e estão resumidas segundo a Tabela 1.

Determinou-se a espessura média dos papéis utilizando o aparelho micrômetro, no qual foi medida a distância entre as faces das folhas de papel, sob carga específica, de acordo com a norma TAPPI T 411 om-97. A determinação da gramatura dos papéis foi realizada para verificar as especificações do fabricante, de 400 g/m<sup>2</sup>. Esse procedimento seguiu a norma T 220 sp-96.

Determinou-se a densidade dos papéis utilizando os resultados obtidos nos ensaios de gramatura e espessura, através da seguinte relação: Densidade = gramatura/espessura.

Para realização do teste Cobb<sub>120</sub>, norma TAPPI 441 om-98, coletou-se amostras de várias bobinas de cada tipo de papel sem qualquer deformação evidente, tais como: dobras, rasgos, rugas, saliências, etc. De cada amostra retirou-se quatro corpos de prova da amostra, com aproximadamente 100 mm de comprimento e 100 mm de largura, o qual foi identificado em lado interno e externo. Depois, o corpo de prova foi pesado e colocado sobre a base do aparelho de Cobb e que, mais tarde, recebeu o anel metálico que foi fixado, bem forte, por meios das presilhas (porcas).

Posteriormente, adicionou-se 100 mL de água (ou altura mínima de 10 mm) dentro do anel ligando, simultaneamente, o cronômetro. A água permaneceu em contato com o corpo de prova dentro do aparelho durante +/- 120 segundos. Após os 120 segundos, despejou-se a água do interior do anel e retirou-se o corpo de prova do aparelho e este foi colocado em superfície plana para passagem do rolo e posterior pesagem.

O resultado do teste de Cobb foi obtido em g H<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>, através da seguinte equação:

$$\text{Cobb} = (\text{Peso do papel} + \text{água}) - (\text{Peso inicial do papel}) \times 260$$

Para a determinação do índice de arrebentamento, ou estouro, dado pela relação entre a resistência ao arrebentamento e a gramatura do papel, em Kpa.m<sup>2</sup>/g, utilizou-se aparelho Mullen, o qual aplica carga através de um diafragma, uniformemente sobre o corpo de prova, até o mesmo estourar. Os procedimentos seguiram a norma TAPPI T 403 om – 97.

Para os ensaios de tração foram preparados corpos de prova dos seis tipos de papel, de modo a gerar quatro repetições para cada.

As determinações relativas aos testes índice de tração, alongamento, energia absorvida pelo corpo de prova em regime de tração (TEA) e módulo de elasticidade específico (MOE), ou seja, Índice de rigidez, sob força de tração, além da determinação da Tensão e Deformação no Limite de Proporcionalidade (TLP e DLP respectivamente), foram realizados em uma máquina de ensaios universal do tipo Instron-modelo 4204, conforme norma Tappi T494 om-88, com as seguintes condições de ensaio: Velocidade de 25 mm/mim; Capacidade da célula de carga de 1000N; Dimensões do corpo de prova de 160 x 15 mm e distância entre garras de 100 mm.

Para o ensaio de Resistência das Ligações Interfibrilares foram preparadas amostras dos seis diferentes tipos de papéis, tratando-se de encobrir cada amostra de 110 mm de comprimento por 25 mm de largura com fita adesiva marrom (PoliCriel<sup>®</sup> da Adelbrás adesivos Ltda.) de mesma largura do corpo de prova em ambas as faces. Porém, na extremidade de uma das faces, um excesso da fita adesiva foi dobrado para que o corpo de prova fosse preso à garra superior do equipamento, para ser então tracionado.

A fim de conseguir um contato íntimo da

TABELA 1: Normas seguidas para cada teste executado.

TABLE 1: Norms followed for each test.

Teste	Norma
Testes físicos e mecânicos de folhas manuais	TAPPI T 220 sp-96
Condicionamento para execução de testes em papel, cartão e papelão	TAPPI T 402 om-93
Resistência ao arrebentamento	TAPPI T 403 om-97
Espessura do papel, cartão e papelão	TAPPI T411 om-97
Propriedades em regime de tração de papel e papelão	TAPPI T 494 om-96
Absorção de água – teste de Cobb	TAPPI 441 om-98



amostra com a fita adesiva, o conjunto fita adesiva-amostra foi prensado entre 2 placas de borracha de face lisa por 5 min a uma pressão de 9,3 kg/cm<sup>2</sup>.

Após o preparo dos corpos de prova, as amostras foram delaminadas, utilizando-se o equipamento de testes Instron, modelo 4204 em movimento de tração a uma velocidade de 50 mm/min. A energia de quebra das ligações (*W*) foi determinada pela área sob a curva calculada e pela força de quebra das ligações em função do comprimento de delaminação. A resistência das ligações interfibrilares (RLF) foi determinada pela energia de quebra das ligações por unidade de área delaminada da amostra, calculada por:  $RLF = W/(Lr)$ ,

Em que:

RLF = Resistência das ligações interfibrilares, J/m<sup>2</sup>;

*W* = Energia de quebra das ligações, J;

*L* = Comprimento de delaminação, m;

*r* = Largura da amostra, m; no caso  $r = 0,025m$ ;

Determinou-se, também, a Delaminação dos papéis em Graus, por ser uma metodologia utilizada por alguns fabricantes de papéis e pela maioria dos fabricantes de tubetes de papelão. Para produção dos corpos de prova os papéis foram cortados na direção da bobina do papel com comprimento aproximado de 120 mm e largura de 80 mm. Posteriormente, colou-se uma fita dupla face nas duas faces (lado) e na mesma extremidade do corpo de prova. Com os corpos de prova prontos, estes foram colocados na linha indicada na plataforma do aparelho delaminador, que por sua vez é constituído, além da plataforma, de um rolo de metal, no qual a outra face do corpo de prova é fixada. O aparelho delaminador é ligado e um motor que realiza o trabalho, erguendo lentamente a plataforma

até que o rolo desça delaminando à amostra. A determinação do número de graus necessários para delaminar a amostra foi feita mediante leitura no medidor no próprio aparelho. Foram feitas quatro repetições para cada tipo de papel.

### Análise estatística dos dados

Inicialmente, foram efetuados os testes de homogeneidade de variância e distribuição normal, através dos testes Hartley e Lilliefors, respectivamente. Posteriormente, procedeu-se a análise de variância segundo o delineamento experimental inteiramente casualizado. Quando estabelecidas diferenças significativas, aplicou-se o teste Tukey a um nível e 5% de probabilidade.

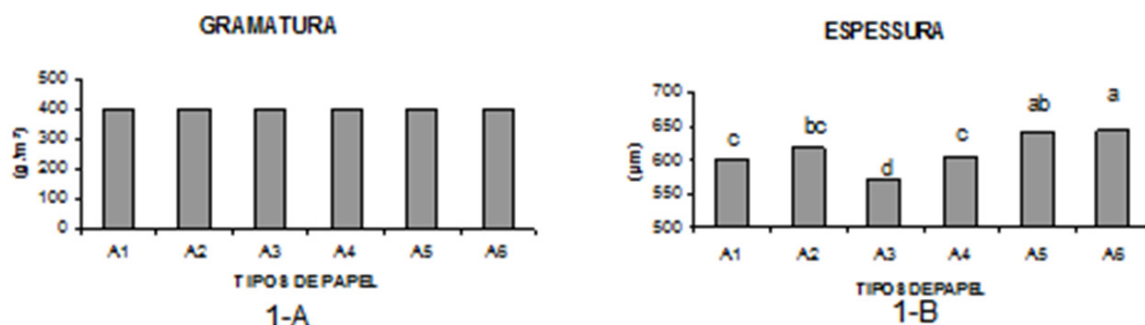
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Propriedades físicas dos papéis

Os valores médios da espessura, gramatura, densidade e Cobb<sub>120</sub> interno e externo dos papéis são apresentados nas Figuras 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

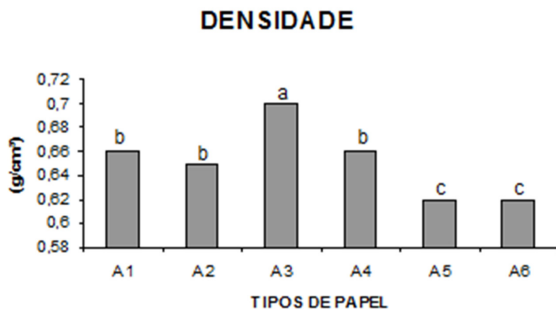
De acordo com a Figura 1-A os papéis estudados apresentam a mesma gramatura média, de 400 g/m<sup>2</sup>, de acordo com as especificações dos fabricantes.

Conforme o teste Tukey, mostrado pela Figura 1-B, foi possível dividir os diferentes tipos de papel em cinco grupos distintos, sendo que o papel do Tipo A6 apresentou o maior valor médio para a espessura e o do Tipo A3 apresentou o menor valor médio. A diferença encontrada entre os papéis é um fator muito importante na indústria de tubetes, pois a fabricação dos mesmos é baseada na espessura da parede, na qual se busca um tubete com menor espessura de parede e com maior resistência mecânica.



\* As médias seguidas pela mesma letra minúscula para espessura, não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste Tukey.

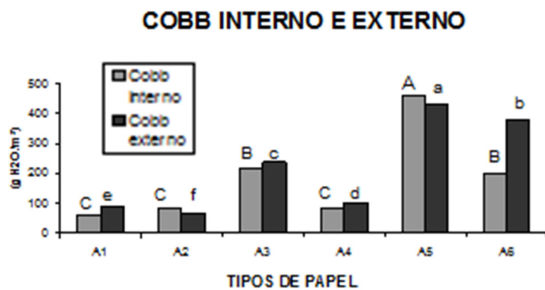
FIGURA 1: Valores médios de (A) gramatura (g/m<sup>2</sup>) e (B) espessura (µm) para os diferentes tipos de papel.  
FIGURE 1: Mean values of (A) weight (g/m<sup>2</sup>) and (B) thickness (µm) for the different paper types.



\* As médias seguidas pela mesma letra minúscula, não diferem estatisticamente entre si para densidade, a 5% de probabilidade, pelo teste Tukey.

FIGURA 2: Valores médios de densidade (g/cm³) para os diferentes tipos de papel.

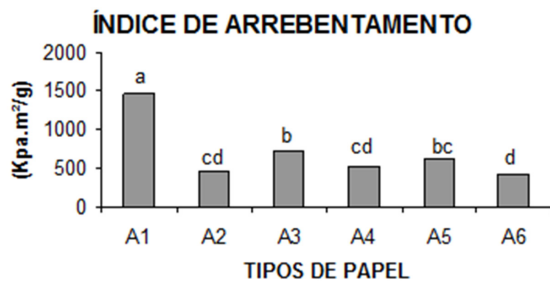
FIGURE 2: Medium values of density (g/cm³) for the different paper types.



\* As médias seguidas pela mesma letra, maiúscula para Cobb interno e minúscula para Cobb externo, não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste Tukey.

FIGURA 3: Valores médios de Cobb<sub>120</sub> interno e externo para os diferentes tipos de papel.

FIGURE 3: Medium values of internal and external Cobb<sub>120</sub> for the different paper types.



\* As médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem estatisticamente entre si, para índice de arrebetamento, a 5% de probabilidade, pelo teste Tukey.

FIGURA 4: Valores médios de índice de arrebetamento (Kpa.m²/g) para os diferentes tipos de papel.

FIGURE 4: Medium values of burst index (Kpa.m²/g) for the different paper types.

A espessura média dos papéis está diretamente ligada às características morfológicas das fibras e ao processo de fabricação que os mesmos sofreram e pode influenciar nas demais propriedades.

As densidades dos papéis estão apresentadas na Figura 2.

Na determinação da densidade, o papel Tipo A3 apresentou o maior valor médio, seguido dos papéis Tipo A1, A2 e A4. Os papéis Tipo A5 e A6 obtiveram os menores valores de densidade, sendo estatisticamente diferentes dos demais.

A densidade é uma propriedade importante a ser observado nos papéis utilizados na produção de tubetes, visto que os mesmos, na maioria das vezes, são comercializados por peso, assim um papel com densidade maior seria interessante, pois formaria um tubete mais pesado, ou seja, neste caso com a mesma massa de fibras numa menor espessura do papel. A densidade do papel é afetada principalmente pelo grau de ligações interfibras e calandragem. Como pode ser observado nas demais propriedades avaliadas o papel do Tipo A1 apresenta características que o podem caracterizar com maiores ligações interfibras, portanto, pode-se postular que os menores valores observados para os papéis dos Tipos A5 e A6 estão ligados à calandragem.

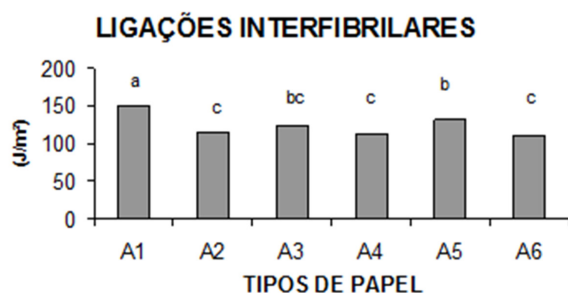
Os valores médios obtidos de Cobb<sub>120</sub> interno e externo são apresentados na Figura 3, a seguir:

Verifica-se na Figura 3 que o papel Tipo A5 apresentou a maior absorção de água, seguido dos papéis Tipo A3 e A6, cujos valores não diferiram significativamente. Os papéis Tipo A1, A2 e A4 obtiveram os menores valores, estatisticamente iguais.

O teste de Cobb refere-se à quantidade de água que o papel é capaz de absorver e ao analisar os valores médios de Cobb<sub>120</sub> externo, nota-se que os papéis Tipo A5 e A6 apresentaram as maiores absorções de água. Este alto valor de Cobb encontrado para esses papéis não é interessante para produção de tubetes, pois o uso desses papéis ocasionou uma maior absorção de adesivo, o que pode acarretar falhas de colagem e arrebetamento dos papéis na tubeteira. De acordo com as especificações dos fabricantes de tubetes, é desejável que o valor de médio de Cobb fique em torno de 100 – 200 gH<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>.

**Propriedades mecânicas dos papéis**

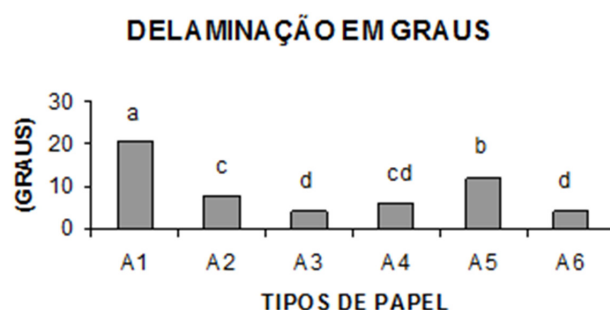
Os valores médios de índice de arrebetamento e ligações interfibrilares (convencional e em graus) estão apresentados nas Figuras 5 e 6, respectivamente.



\* As médias seguidas pela mesma letra minúscula, para resistência das ligações interfibrilares, não diferem entre si estatisticamente, a 5% de probabilidade, pelo teste Tukey.

FIGURA 5: Valores médios das ligações interfibrilares para os diferentes tipos de papel.

FIGURE 5: Medium values of inter-fiber links for the different types of paper.



\* As médias seguidas pela mesma letra minúscula, para delaminação em graus, não diferem entre si, estatisticamente, a 5% de probabilidade, pelo teste Tukey.

FIGURA 6: Valores médios de delaminação em graus para os diferentes tipos de papel.

FIGURE 6: Medium values of delamination in grades for the different types of paper.

A Figura 4 apresenta os valores médios de índice de arrebentamento dos papéis.

Observa-se na Figura 4 que o papel Tipo A1 obteve o maior valor médio, sendo significativamente superior aos demais. Os papéis Tipo A3 e A5 não diferiram entre si. De modo geral o papel Tipo A6 obteve menor resistência no ensaio de arrebentamento, apresentando valor médio igual a 400 Kpa.m<sup>2</sup>/g.

Os valores médios de resistência dos papéis quanto às Ligações Interfibrilares, pelos métodos, convencional e delaminação em graus, são apresentados nas Figuras 5 e 6, respectivamente.

Observa-se que o papel Tipo A1 obteve o maior valor de resistência das ligações interfibrilares,

o que o torna bastante interessante para produção de tubetes, visto que essa propriedade é intensamente exigida, principalmente, na face interna dos tubetes, devido ao forte impacto gerado pela ação de máquinas. Os papéis Tipo A3 e A5 foram estatisticamente iguais, sendo que o Tipo A3 não diferiu dos papéis Tipo A2, A4 e A6, que por sua vez foram semelhantes entre si.

De modo geral, quanto maior a resistência das ligações interfibrilares, maior a resistência mecânica dos papéis formados. As propriedades influenciadas pelas ligações interfibrilares, estabelecidas durante a formação do papel, são prejudicadas pela ação das diversas etapas do processo de fabricação do papel e da reutilização destas fibras, no entanto, nota-se através da Figura 6, que este efeito foi menos pronunciado no papel do Tipo A1.

Observa-se na Figura 6 que o papel Tipo A1, assim como no ensaio de resistência das ligações interfibrilares, apresentou o maior valor médio, sendo este, significativamente, superior aos demais tipos de papel. Os menores valores foram obtidos pelos papéis Tipo A3, A4 e A6, os quais não diferiram entre si.

Outras propriedades, que comprovam que o papel do Tipo A1 apresenta maiores números de ligações interfibrilares e em maior quantidade, são as propriedades avaliadas sob regime de tração, avaliadas pelos valores médios de índice de tração (IT), alongamento (AL), módulo de elasticidade específico (MOE), deformação no limite de proporcionalidade (DLP), energia de deformação (TEA) e tensão no limite de proporcionalidade (TLP), apresentados na Tabela 2.

Observa-se no ensaio de índice de tração que o papel Tipo A1 apresentou o maior valor médio, ou seja, é o mais resistente. Os papéis Tipo A3, A4 e A5 apresentaram resistências médias estatisticamente iguais entre si. Os papéis Tipo A2 e A6 não diferiram entre si, obtendo os menores valores médios de índice de tração.

De modo geral, os tubetes produzidos com papéis com alto índice de tração apresentam alta resistência à compressão plana, sendo, portanto, indicado o uso do papel Tipo A1 para os clientes que exigem grande resistência dos tubetes, a exemplo das fábricas de papel, que colocam toneladas e peso sobre os tubetes.

Nota-se que os papéis Tipo A1, A3, A4 e A5 foram os que mais alongaram, quando submetidos à tração, não ocorrendo diferença estatística entre eles. Os papéis Tipo A2 e A6 foram os que menos alongaram.

TABELA 2: Valores médios de IT, AL, MOE, DLP, TEA e TLP dos diferentes tipos de papel.

TABLE 2: Medium values of IT, AL, MOE, DLP, TEA and the TLP of different paper types.

Tipos de papel	IT (N.m/g)	AL (%)	MOE (MN.m/Kg)	DLP (%)	TEA (J/m <sup>2</sup> )	TLP (Mpa)
A1	98,85 a	2,19 a	5,70 a	1,110 a	507,4 a	41,01 a
A2	38,14 c	1,64 b	3,84 c	0,375 c	150,5 c	9,04 c
A3	54,24 b	2,44 a	3,86 c	0,493 b	331,3 b	12,96 b
A4	51,75 b	2,06 a	4,49 b	0,403 c	264,5 c	11,66 b
A5	56,85 b	2,13 a	3,92 c	0,500 b	281,5 b	11,81 b
A6	33,6 c	1,49 b	4,01 c	0,393 c	128,9 c	9,33 c

Em que: \* As médias seguidas, na coluna, pela mesma letra minúscula, para cada ensaio, não diferem estatisticamente entre si, a 95% de probabilidade, pelo teste Tukey.

O maior módulo de elasticidade específico foi observado para o papel Tipo A1, sendo este significativamente diferente dos demais. Não houve diferença estatística entre os papéis A2, A3, A5 e A6, apresentando valores médios próximos de 4 MN.m/Kg. Esses resultados mostram que os papéis do Tipo A1 apresentam maiores capacidades de absorção de carga, sem, no entanto, sofrerem deformações substanciais. Essa propriedade é influenciada pela rigidez fibrilar o que leva a se acreditar que as fibras que compõem esse tipo de papel apresentam maiores rigidez que a dos demais, pois alongam menos e, portanto, resistem mais às deformações, quando sob a aplicação de uma força.

Para DLP houve diferença significativa entre os valores médios de cada papel, sendo o papel Tipo A1 o de maior valor. Resultados semelhantes ocorreram para TEA e TLP, nos quais o papel Tipo A1 foi o de maior valor médio, sendo diferente dos demais. Esses resultados mostram que o papel do tipo A1 apresenta maior capacidade em absorver energia, sob condições de aplicações crescentes de carga. Estas propriedades são muito dependentes das características de formação e do potencial de conformabilidade das fibras na folha de papel, o que indica que as características da polpa e do processo usados para formação do papel do Tipo A1 são mais adequadas para confecção de tubetes que demandam uma maior resistência.

## CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos nos testes experimentais é possível concluir que os tipos de papéis estudados, Tipo A1, Tipo A2, Tipo A3, Tipo A4, Tipo A5 e Tipo A6, apresentam propriedades físicas e mecânicas diferentes.

O papel Tipo A1 foi o que apresentou as melhores propriedades físicas e mecânicas, devendo

ser indicado para produção de tubetes, porém, devido ao seu elevado custo, deve-se estudar, por parte das empresas produtoras, sua viabilidade, talvez não como principal papel, mas compondo uma receita de produção, na qual será utilizado aproveitando-se as suas melhores características, como por exemplo, utilizá-lo na composição da capa interna do tubete, conferindo maior resistência à delaminação interna. Pode-se atribuir os melhores resultados de resistências físicas e mecânicas, obtidas ao papel Tipo A1, devido à maior rigidez, maior número de ligações interfibras e maior força entre essas ligações. Essas características permitiram formar um papel com melhor conformabilidade da rede fibrosa e, portanto, com maiores resistências.

Cada tipo de papel reciclado, estudado neste trabalho, pode ser utilizado para produção de tubetes, devendo ser escolhido de acordo com as necessidades dos clientes, visto que a qualidade dos papéis está diretamente ligada ao custo de compra dos mesmos, ditando, na maioria das vezes, o preço dos tubetes no mercado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLANCO, A. et al. Destabilization of dissolved and colloidal material derived from coated paper. *Appita journal*. v. 54, Mar. 2001.
- BRACELPA – Associação Brasileira de Celulose e Papel. Relatório Estatístico 2007/2008.
- BUGAJER, S. O efeito da reciclagem de fibras secundárias sobre as propriedades do papel kraft. *O Papel*, n. 12, p. 108-112, 1976.
- CASTANHO, C. G.; OLIVEIRA, R. C. Estudos de Aproveitamento de Rejeito Fibroso Industrial da Polpação Kraft de Eucalipto na Produção de Papéis Reciclados. In: CONGRESSO DA ABTCP-TAPPI, 33., 2000, São Paulo; CONGRESSO DA ABTCP-TAPPI Sessão Técnica IV: Papel e Cartão, 33., 2000,



- São Paulo. São Paulo: ABTCP, 2000. v. 4. p. 1-17.
- CULLINAN, H.T. A distribuição de idade da fibra reciclada. **O Papel**, v. 54, n. 1, p. 53-56. 1993.  
Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br>>  
Acesso em: 20 de agosto de 2009.
- FERGUSON, L. D. Effects of recycling on strength properties. **Paper Technology**, n.10, p. 14-20, 1992.
- HOWARD, R. C. The effects of recycling on paper quality. **Paper technology**, v. 32, n. 4, p. 20-25, 1991.
- LAW, K. N.; JACQUES, L. V.; LI, K. Recycling behavior of thermomechanical pulp: effects of refining energy. **Tappi Journal**, v. 79, n. 10, p. 181-186, 1996.
- NAZDAH, M. M., The influence of refining energy and intensity on enhancing the bonding potential of OCC pulp, **Appita Journal**, v. 57, p. 191-198, 2004.
- NEVES, F. L. **Efeito da Interação entre Fibras Virgens e Recicladas nas Características Físicas de Cartões Multifolhados**. 2000. 73 p. Dissertação (Mestrado)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" Piracicaba, 2000.
- PERECIN, L. Reciclar é preciso. **O papel**, v. 10, p. 56-62, 2005
- SOARES, V. C. **Desenvolvimento de processos e produtos para controle de substâncias em estado coloidal (stickies) na produção de papel reciclado**. 2007. 105 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.
- SPANGERBERG, R.J. **Secondary fiber recycling**. 1993. 268 p.
- TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY - TAPPI. **Normas técnicas**. Atlanta, 1999.
- TUBOMINAS INDUSTRIA E COMÉRCIO LTDA. Documento interno. Éloi Mendes, MG, 2007.