

ESTUDO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE PAPÉIS RECICLADOS UTILIZADOS PARA FABRICAÇÃO DE TUBETES

Angélica de Cássia Oliveira Carneiro (Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil); Marco Túlio Cardoso (Universidade Federal de Viçosa/Tubominas Indústria e Comércio Ltda., Viçosa, Brasil); Rubens Chaves de Oliveira (Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil); Wagner Patrício Junior (Tubominas Indústria e Comércio Ltda., Elói Mendes, Brasil); Benedito Rocha Vital (Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil); Felipe Rodrigues Alcides (Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil).

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/m² e para os ensaios de laboratório seguiu-se os procedimentos da Technical Association of Pulp and Paper Industry (Tappi). 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.

ABSTRACT

The present work aimed at to study, through laboratory rehearsals, the physical and mechanical properties of recycled papers used for tubes production. For so much it was used six types of papers with medium gramature of 400 g/m² and for the laboratory rehearsals it was followed the procedures of Technical Association of Pulp and Paper Industry (Tappi). It was verified differentiates significant among the studied papers as for the physical and mechanical characteristics, and the paper A1 obtained, in general, the best results, justifying his high price in the market. The paper A3 was it of larger density, given relevant for tubes industry, since these are usually marketed by weight. It is ended that all of the studied papers are suitable for tubes production, should be used in agreement with the customer's demands, because the price of the paper is that it determines, most of the time, the value of the tube.

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

Key-words: *recycled paper, recycling, paper tubes, paper properties*

1. 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, com fim de diminuir a emissão de gases de efeito estufa e frear o aquecimento global. Para Winsconsin Consumer Packing Council, citado por OLIVEIRA & SABIONI (1998), a poluição atmosférica gerada por processos de reciclagem de papel pode ser cerca de 79% inferior àquela gerada por processos convencionais de polpação.

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.

Torna-se clara a realidade da reciclagem de papel no mercado nacional e internacional, já que neste a taxa média de reciclagem foi de 40% do consumo de papel (VENTORIM, 1998), porém há ainda muitas dúvidas com relação à qualidade do papel reciclado e de produtos que o utilizam.

Considerando a importância dos papéis reciclados como matéria-prima para vários produtos, dentre eles os tubetes de papelão, o presente trabalho tem como objetivo caracterizar, através de ensaios laboratoriais, os papéis existentes no mercado mais comumente utilizados para produção de tubos, determinando suas propriedades físicas e mecânicas, visando conhecer aqueles de melhor qualidade para essa utilização e indicar seu uso na produção.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Influência da reciclagem na qualidade das fibras dos papéis

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.

No próprio processo de formação do papel, as polpas mecânicas de fibras recicladas ficam menos livres e se torna mais difícil escoar água, na fase de formação da folha de papel, ocasionando uma velocidade de operação mais lenta da máquina produtora de papel, mas esse problema pode ser resolvido com o uso de aditivos químicos (CATHIE & GUEST, 1991).

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 causado, 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 reumidificação, elas são arrepeladas e endurecidas perdendo parcialmente seu poder ligante.

CATHIE & GUEST (1991), dizem que a visão mais comumente aceita é que a parede celular é modificada com a reciclagem, esta mudança leva ao fechamento de poros pelos quais a água pode passar, isso restringe a quantidade de água dentro da fibra, conseqüentemente seu inchamento, devido a isso então, não há uma boa conformação entre as fibras o que limita a área de contato entre elas, sendo produzida uma folha de papel mais fraca.

Para CULLINAM (1993), citado por CASTANHO & OLIVEIRA (2000), perda de hemicelulose 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.

Segundo HOWARD (1991), as mudanças que ocorrem nas fibras se devem as operações de refino inicial, a prensagem úmida, a secagem e a calandragem do papel, no processo de reciclagem. BOBALEK & CHATURVERDI (1989), atribuem tais mudanças totalmente aos efeitos de secagem.

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 ínterim, é relevante compreender as conseqüências ocorridas nas fibras secundárias do papel reciclado, que as diferenciam das fibras virgens. Essas diferenças são essencialmente: aumento do freeness; 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).

2.2. 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 "hornification" (CASTANHO & OLIVEIRA, 2000), que é resultante da eliminação da água dos espaços interfibrilares, que permitem 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 têm-se 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 mais branda. 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.

Muitos estudos mostram que o módulo de elasticidade, propriedade que expressa a habilidade do papel em resistir a deformações em função das tensões aplicadas, é menor no papel reciclado.

A resistência das ligações fibrilares mostra a habilidade das fibras da polpa em formar ligações entre elas. Acredita-se que nível desejado de resistência das ligações possa ser conseguido pela seleção de espécies de madeira e/ou método de polpação, refino, conteúdo de finos, quantidade de agentes ligantes e modificações químicas nas fibras.

De modo geral, observa-se que a resistência à delaminação diminui nos papéis reciclados, pelo fator principal de o poder ligante das fibras diminuir com o processo de reciclagem, enfraquecendo as ligações entre fibras que é o fator determinante para essa e outras propriedades.

Cobb é o ensaio utilizado internacionalmente para determinação da quantidade de água absorvida pela superfície de papéis e é uma propriedades importante principalmente para papéis de embalagens, como muitas vezes é o caso dos tubetes, assim a determinação de Cobb em papéis utilizados para produção de tubetes é imprescindível, todavia não se tenha um valor padrão na literatura, variando muito de acordo com o papel testado.

2.3. Fabricação dos tubetes

O processo de fabricação de tubetes de papelão reciclado é, em essência, um processo considerado pouco automatizado no Brasil, à exceção de empresa multinacional que possui 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 10000 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 1100 kg geralmente) e no formato de rolos (também vulgarmente denominados discos e "bolachas", com peso aproximado de 50 a 60 kg quando adotado a largura de 100mm. 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 master 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.

2.3.1. Propriedades dos tubetes

As propriedades dos tubetes de papelão, principalmente resistência à compressão plana, estão intimamente ligadas às propriedades do papel com o qual o tubete é produzido, assim com um papel de boa qualidade produz-se um tubete com alta resistência e uma espessura pequena, ao passo que quando se utiliza um papel de baixa qualidade é necessário produzir um tubete mais espesso para se ter boa resistência. De modo geral, segundo a norma NBR 14351 da ABNT, determina-se a resistência à compressão plana dos tubetes a partir de corpos-de-prova de 10 cm de comprimento, os quais são submetidos à aplicação de carga em máquina de ensaio universal, a uma velocidade de 50 milímetros por minuto, registrando-se a carga máxima suportada.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Amostragem dos papéis

Foram utilizados seis tipos diferentes de papéis reciclados, com gramatura média de 400 g/m², 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.

3.2. 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.

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/m². 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 fórmula:

$$D = \text{GRAMATURA (g/m}^2\text{)} / \text{ESPESSURA (}\mu\text{m)},$$

onde:

$$D = \text{densidade (g/cm}^3\text{)}$$

Para realização do teste Cobb₁₂₀ 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, que, posteriormente 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. Após os 120 segundos despejou-se a água do interior do anel e retirou-se o corpo-de-prova do aparelho e colocou-os em superfície plana para passagem do rolo, para posterior pesagem.

O resultado do teste de Cobb foi obtido em g H₂O/m², 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.m²/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 Inter-Fibrilares 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 (PoliCril® 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 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/cm².

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 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:

$$RLF = W/(Lr)$$

onde:

RLF = Resistência das ligações interfibrilares, J/m²

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, colou-os 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 delaminado 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.

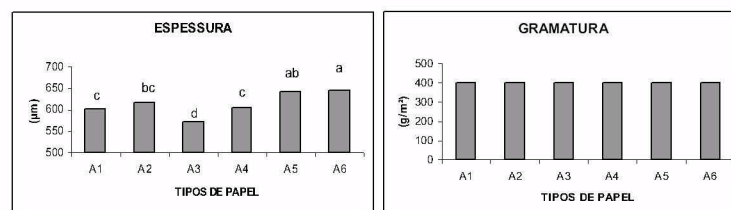
3.3. Análise estatística dos dados

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.

4. RESULTADOS

4.1. Espessura e gramatura dos papéis

Os valores médios da espessura e da gramatura dos papéis são apresentados nas Figuras 1 e 2.



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

Figuras 1 e 2 – Valores médios de espessura (μm) e gramatura (g/m^2) para os diferentes tipos de papel, respectivamente.

Observou-se que os papéis tipo A5 e A6 obtiveram os maiores valores médios, sendo que o Tipo A5 não diferiu estatisticamente do Tipo A2, este por sua vez, não diferiu dos papéis Tipo A1 e A4. O papel de menor espessura foi o Tipo A3.

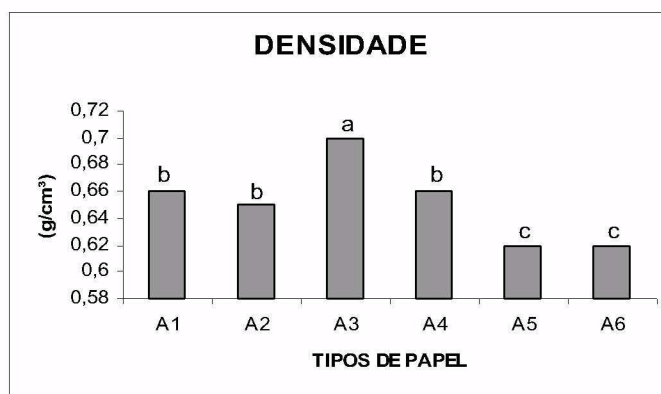
Esta diferença encontrada entre os papéis é um fator muito importante na indústria de tubetes, pois a fabricação dos mesmos é baseada na espessura da parede, na qual se almeja um tubete com menor espessura de parede e com uma resistência mecânica maior.

A espessura média dos papéis está diretamente ligada ao processo de fabricação dos mesmos e pode interferir nas demais propriedades.

De acordo com a Figura 2 os papéis estudados apresentam a mesma gramatura média, de $400 \text{ g}/\text{m}^2$, de acordo com as especificações dos fabricantes.

4.2. Densidade

As densidades dos papéis são apresentadas na Figura 3, a seguir:



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

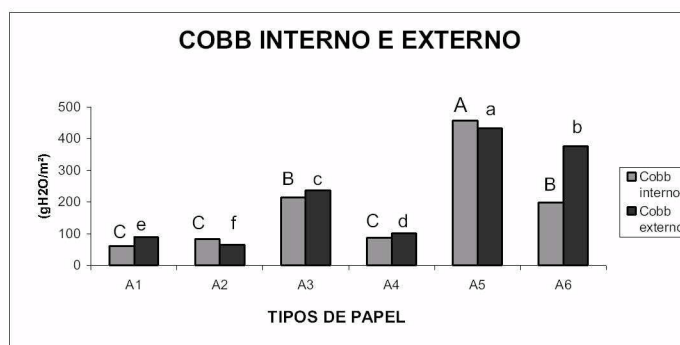
Figura 3 – Valores médios de densidade (g/cm^3) para os diferentes tipos de papel.

A densidade é um fator 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.

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.

4.3. Cobb₁₂₀ interno e externo

Os valores médios obtidos de Cobb₁₂₀ interno e externo são apresentados na figura 4 a seguir:



* 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 4 – Valores médios de Cobb₁₂₀ interno e externo para os diferentes tipos de papel.

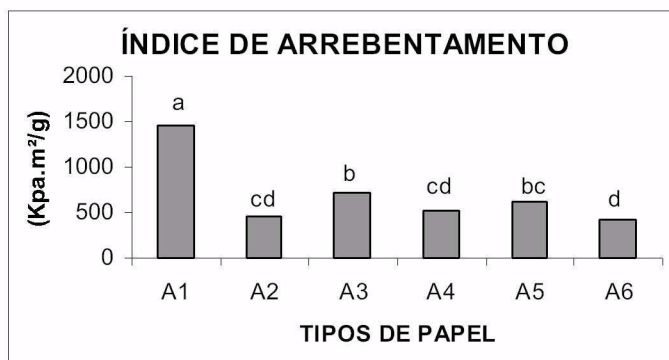
Verifica-se na Figura 8 que o papel Tipo A5 apresentou a maior absorção de água, seguido dos papéis Tipo A3 e A6, cujos valores não diferiram significativamente. Os papéis Tipo A1, A2 e A4 obtiveram os menores valores, estatisticamente iguais.

Analisando-se os valores médios de Cobb₁₂₀ 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 ocasionaram uma maior absorção de adesivo, o que pode acarretar falhas de colagem e arrebentamento 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 gH₂O/m².

4.4. Índice de arrebentamento

A Figura 5 apresenta os valores médios de índice de arrebentamento.



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

Figura 5 – Valores médios de índice de arrebentamento (Kpa.m²/g) para os diferentes tipos de papel.

Observa-se na Figura 9 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.m²/g.

4.5. Ensaio de tração

Os 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) são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores médios de IT, AL, MOE, DLP, TEA e TLP dos diferentes tipos de papel.

Tipos de papel	IT (N.m/g)	AL (%)	MOE (MN.m/Kg)	DLP (%)	TEA (J/m ²)	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

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

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 resistência média 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 os quais exigem grande resistência dos tubetes, a exemplo das fábricas de papel, que colocam toneladas e peso sobre os tubetes.

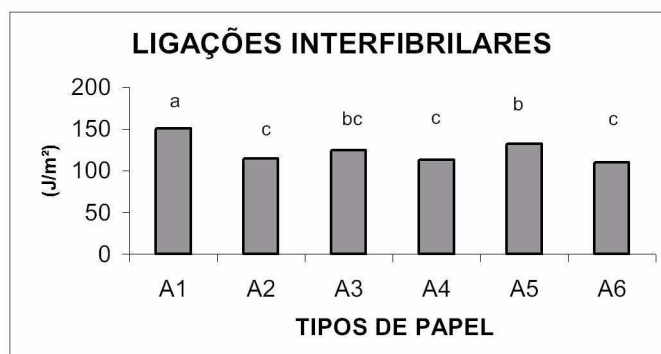
Nota-se que os papéis Tipo A1, A3, A4 e A5 foram os que mais alongaram quando submetidos à tração, não ocorrendo diferença estatística entre eles. Os papéis Tipo A2 e A6 foram os que menos alongaram.

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.

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 maiores valores médios, diferente dos demais.

4.6. Ligações interfibrilares

Os valores médios de resistência dos papéis quanto às Ligações Interfibrilares, pelos dois métodos, convencional e delaminação em graus, são apresentados nas Figuras 6 e 7 respectivamente.

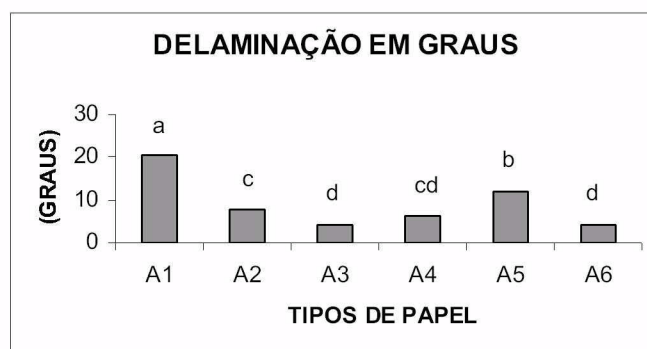


* As médias seguidas pela mesma letra minúscula, para resistência das ligações interfibrilares, não diferem entre si estatisticamente, a 5% de probabilidade, pelo teste Tukey.

Figura 6 – Valores médios das ligações interfibrilares para os diferentes tipos de papel.

Observa-se que o papel Tipo A1 obteve o maior valor de resistência das ligações interfibrilares, que o torna importantíssimo para produção de tubetes, visto que essa propriedade é fortemente 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 tubetes.



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

Figura 7 – Valores médios de delaminação em graus para os diferentes tipos de papel.

Observa-se na Figura 9 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.

5. CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos nos testes experimentais pode 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, como seu custo é alto, 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.

Cada tipo de papel reciclado estudado neste trabalho tem pode ser utilizado, como o é, para produção de tubetes, devendo ser utilizado 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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Papel e cartão – Tubetes – Determinação da resistência à compressão plana**: NBR10523. Rio de Janeiro, 1997. 2 p

BOBALEK, J.F. & CHATURVERDI, M. The effects of recycling on the physical properties of handsheets with respect to specific wood species. **TAPPI journal**, v. 72, n. 6, p.123-125, 1989.

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: 33º Congresso da ABTCP-TAPPI, 2000, São Paulo-SP. 33º Congresso da ABTCP-TAPPI Sessão Técnica IV: Papel e Cartão. São Paulo-SP : ABTCP, 2000. v. 4. p. 1-17.

CATHIE, K. ; GUEST, D. Wastepaper. **Pira Guide Series**, England, 1991. 134p.

CULLINAN, H.T. A distribuição de idade da fibra reciclada. **O Papel**. v. 54, n. 1, p. 53-56. 1993.

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.

NEVES, F. L. **Efeito da Interação entre Fibras Virgens e Recicladadas nas Características Físicas de Cartões Multifolhados**. 2000. 73p. Dissertação (Mestrado), ESALQ, Piracicaba.

OLIVEIRA, R. C. ; SABIONI, L. . Impacto de Variáveis de Refino e da Adição de Fibras Virgens na Recuperação da Qualidade de Papéis de Eucalipto Decorrentes da Reciclagem. In: 1º CONGRESSO DE TECNOLOGIA PAPELEIRA, 1998, São Paulo. **Anais...** São Paulo - SP : ABTCP, 1998. p. 75-88.

SPANGERBERG, R.J. **Secondary fiber recycling**. 1993. 268p.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY - TAPPI. . **Normas técnicas**. Atlanta, 1999. Physical Testing of Pulp Handsheets, Norma TAPPI T 220 sp-96. Standard Conditioning and Testing Atmospheres for Paper, Board, Pulp Handsheets, and Related Products, Norma TAPPI T 402 om-93. Bursting Strength of Paper, Norma TAPPI T 403 om-97. Test Method, Thickness (Caliper) of Paper, Paperboard, and Combined Board, Norma TAPPI T411 om-97. Tensile Breaking Properties of Paper and Paperboard, Norma TAPPI T 494 om-96.

VENTORIM, G. **Processos de baixo impacto ambiental para o branqueamento de fibras secundárias**. 1998. 146 f.. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.