

Características do papel reprográfico produzido com fibras de eucalipto e suas relações com a estabilidade dimensional

Characteristics of reprographic paper produced with eucalyptus fiber and relationship with dimensional stability

Autores/Authors*: Afonso Henrique Teixeira Mendes
Song Won Park
Fábio Sergio Almeida
Paulo Jorge Tavares Ferreira

Palavras-chave: Estabilidade dimensional, higroexpansibilidade, papel reprográfico, propriedades físicas do papel

Keywords: *Dimensional stability, hygroexpansivity, reprographic paper, physical properties of the paper*

RESUMO

Como qualquer material fabricado a partir de fibras de madeira, o papel também apresenta variações dimensionais decorrentes de modificações no seu teor de umidade. O presente trabalho aborda o comportamento desta propriedade do papel, denominada higroexpansibilidade, medida em papel reprográfico fabricado a partir de fibras de eucalipto durante o processo de produção em máquina industrial. O estudo foi realizado com amostras de papel de 75 g/m², coletadas em diversos pontos de uma máquina comercial operando a velocidade de 1256 m/min. Além da higroexpansibilidade, foram medidas as seguintes propriedades físicas: gramatura, espessura, corpo (*bulk*), porosidade, carga mineral, TSI (*tensile stiffness index*), TSO (*tensile stiffness orientation*), resistência à tração, TEA (*tensile energy absorption*), alongamento, índice de tração, rigidez à tração, módulo de elasticidade, comprimento de ruptura, resistência ao rasgo e resistência ao arrebentamento. Os resultados das medições dessa propriedade são discutidos em termos de efeitos provenientes das condições operacionais estabelecidas para a fabricação do papel, permitindo reconhecer influências da

ABSTRACT

Like any material made from wood fibers, paper also exhibits dimensional changes as a result of variations in moisture content. This property, called hygroexpansivity, is very important both in the papermaking and in the printing processes. The present work studies the hygroexpansivity of reprographic paper produced with eucalyptus kraft pulp, measuring this property during the process in an industrial paper machine. The study was developed using 75 g/m² paper samples collected in different positions of a commercial paper machine running at speed of 1256 m/min. Paper samples were collected along the paper machine, from the forming section up to the finishing section, and also along the cross machine direction at the reel. Besides hygroexpansivity, other physical properties of the paper samples were measured: grammage, thickness, bulk, porosity, filler content, TSI (tensile stiffness index), TSO (tensile stiffness orientation), tensile strength, TEA (tensile energy absorption), stretch, tensile index, tensile stiffness, breaking length, modulus of elasticity, tear strength and burst strength. The analysis of the results reveals the effect on

*Referências dos autores / Authors' references:

- Departamento de Engenharia Química, Universidade de São Paulo, Av. Luciano Gualberto, 380 tv. 3, 05508-900, São Paulo, SP, Brasil – Tel.: +55 11 30911171, Fax: +55 11 38132380 – Emails: afonso.mendes@poli.usp.br - songwon.park@poli.usp.br
Chemical Engineering Department, University of São Paulo, Av. Luciano Gualberto, 380 tv. 3, 05508-900, São Paulo, SP, Brazil – Phone: +55 11 30911171, Fax: +55 11 38132380 – Emails: afonso.mendes@poli.usp.br - songwon.park@poli.usp.br
- Conpacel, C.P. 254, 13465-970, Americana, SP, Brasil - Tel.: +55 19 2108-3597, Fax: : +55 19 3406-8034 Email: fsalmeida@conpacel.com.br
Conpacel, C.P. 254, 13465-970, Americana, SP, Brazil - Phone: +55 19 2108-3597, Fax: : +55 19 3406-8034 Email: fsalmeida@conpacel.com.br
- Departamento de Engenharia Química, Universidade de Coimbra, Polo II - R. Sílvio Lima, 3030-790, Coimbra, Portugal – Tel.: +351 239.798.700 / 747, Fax: +351 239.798.703 – Email: paulo@eq.uc.pt
Chemical Engineering Department, University of Coimbra, Polo II – Rua Sílvio Lima, 3030-790, Coimbra, Portugal – Phone +351 239.798.700 / 747, Fax: +351 239.798.703 – Email: paulo@eq.uc.pt

orientação de fibras, do processo de secagem e da restrição ao encolhimento, da aplicação de amido superficial e da aplicação de tensões nas direções longitudinal e transversal do papel. As medidas dessas propriedades são discutidas em relação a sua correlação com a higroexpansibilidade.

INTRODUÇÃO

A medição da higroexpansibilidade do papel, a fim de monitorar ações para seu controle durante o processo de fabricação, é fundamental para atender a constante demanda de qualidade para produtos impressos, produzidos por diversos processos, tais como o offset colorido e as reproduções em máquinas copiadoras. Atualmente, problemas relacionados à estabilidade dimensional constituem uma das principais causas para devolução de papel ao fabricante, por motivo de desconformidade com os padrões de qualidade exigidos pelo usuário final.

Higroexpansibilidade do papel

Define-se higroexpansibilidade como a propriedade responsável por alterações dimensionais no papel decorrentes de variações em seu teor de umidade e que se constitui, em geral, de uma função complexa da estrutura do papel e das propriedades higroelásticas das fibras celulósicas que o compõem, fibras que se expandem ou contraem por influência da absorção ou dessorção de água. São vários os fatores que determinam a modificação do teor de umidade do papel. Essa variação pode ser causada por alterações da umidade relativa ou da temperatura do ambiente com o qual o papel se encontra em equilíbrio, pela aplicação de água (na fase líquida) à sua superfície (como em processos de impressão offset, por exemplo) ou, ainda, pelo aquecimento da folha, como ocorre com o papel reprográfico usado em máquinas copiadoras ou em impressoras a laser.

Higroexpansão da folha de papel

O papel é constituído de fibras celulósicas orientadas no plano da folha, distribuídas aleatoriamente e interligadas, formando uma trama porosa. A higroexpansão das fibras individuais é marcadamente anisotrópica [Galay, 1973]. As microfibrilas presentes na estrutura das paredes das fibras encontram-se orientadas essencialmente na direção paralela ao eixo longitudinal das fibras e a maior parte da deformação dimensional se desenvolve na direção transversal, i.e., perpendicularmente ao eixo da fibra. Na faixa de umidade relativa entre 0% e 100%, as deformações causadas pela variação do teor de umidade na direção axial da fibra são da ordem de 1%, enquanto que na direção transversal atingem valores da ordem de 20%. Valores da ordem de 1% a 2% na direção longitudinal e 20% a 50% na direção transversal das fibras também foram observados por Page; Tydeman² [1962 *apud* Uesaka, 1994].

hygroexpansivity of the operations and treatments involved in the papermaking process (formation, pressing, drying and finishing). The results are discussed with special emphasis on the correlations between hygroexpansivity and the other aforementioned properties.

INTRODUCTION

Measurement of paper hygroexpansivity, meant to monitoring the actions required for its control during the paper manufacturing process, is crucial to fulfill the continuous demand for quality in printed products, produced via a number of processes, such as color offset and reproductions made on copy machines. Today, problems regarding paper dimensional stability are one of the major recorded causes of paper return to manufacturers due to non-conformity with the quality standards required by the end user.

Paper hygroexpansivity

Hygroexpansivity is defined as the property responsible for dimensional alterations in the paper as a consequence of variations in paper moisture; it consists, basically, of a complex function of the paper structure and of the hygroelastic properties of the cellulose fibers involved, which may expand or shrink under the influence of water absorption or desorption. Several factors determine a modification in paper moisture: this variation may be caused by alterations in relative humidity or temperature in the environment with which the paper is in equilibrium; by water application (liquid phase) to the paper surface (as occurs in offset printing processes, for example); or, also, by paper sheet heating, as occurs with reprographic paper used on copy machines or laser printers.

Paper sheet hygroexpansion

*Paper consists of cellulose fibers oriented on the plane of the sheet, randomly distributed and interconnected, so as to form a porous network. Individual fiber hygroexpansion is markedly anisotropic [Galay, 1973]. Microfibrils present in the fiber wall structure are essentially oriented parallel to the fiber longitudinal axis, and most of the dimensional deformation develops in cross direction, i.e., perpendicularly to the fiber axis. In the relative humidity range between 0% and 100%, deformations caused by moisture variation in fiber axial direction correspond to approximately 1% while, in cross direction, they reach values of around 20%. Values of around 1% to 2% in fiber longitudinal direction and 20% to 50% in fiber cross direction were also observed by Page; Tydeman² [1962 *apud* Uesaka, 1994].*

² Page, D.H.; Tydeman, P.A., in: *The Formation and Structure of Paper*, vol.2, ed. F.Bolam, London, 1962, p.397

Quando ocorre alteração no teor de umidade ou na umidade relativa do ambiente, as deformações sofridas por uma fibra são transmitidas às fibras vizinhas através da estrutura formada pela rede de fibras interligadas. O grau de transferência das alterações dimensionais de uma fibra para outras pode ser afetado por diversos fatores, tais como a intensidade das interligações entre elas, a curvatura (*curliness*) das fibras, as dimensões das fibras, a orientação e a razão de rigidez entre as direções axial e transversal da fibra. Devido à complexidade da rede de fibras e às interações entre as propriedades mecânicas e a higroexpansão, torna-se difícil a interpretação de resultados experimentais de higroexpansão em termos da estrutura do papel e das propriedades das fibras.

Uesaka [1994] derivou uma fórmula geral para a higroexpansão a fim de relacionar a higroexpansão individual das fibras com a higroexpansão da folha de papel. Nessa abordagem, a higroexpansão do papel é determinada por dois fatores principais: a higroexpansão individual das fibras, incluindo as deformações na direção axial e na direção transversal, e a eficiência na transferência de tensão entre a rede e as fibras individualmente. Considerando um comportamento isotrópico para as propriedades higroelásticas das fibras na direção transversal, i.e., que as propriedades em sentido longitudinal são diferentes daquelas em sentido transversal das fibras, mas entendido que no plano transversal as propriedades são isotrópicas, a higroexpansão da folha de papel nas direções MD (*machine direction*) e CD (*cross direction*) da máquina pode ser expressa, de forma aproximada, pelas equações a seguir:

$$\mu_{11} = \mu_L^f + b_1(\mu_T^f - \mu_L^f) \quad (1a)$$

$$\mu_{22} = \mu_L^f + b_2(\mu_T^f - \mu_L^f) \quad (1b)$$

onde:

μ_{11} e μ_{22} higroexpansão do papel nas direções MD e CD, %

μ_L^f e μ_T^f higroexpansão das fibras nas direções longitudinal e radial, %

b_1 e b_2 fatores de transferência de tensão para a direção transversal da fibra quando a folha é tensionada na direção longitudinal ou na direção transversal, respectivamente.

Observa-se, nas expressões (1a) e (1b), que a higroexpansão da folha de papel resulta de uma combinação entre a higroexpansão transversal e a longitudinal das fibras (μ_L^f e μ_T^f). A importância relativa de cada um desses componentes depende do fator de transferência de tensão (b_1 e b_2) determinado pelas dimensões das fibras e pelo grau das ligações entre elas que, por sua vez, é influenciado por propriedades

When alterations occur in moisture or in room relative humidity, deformations suffered by one fiber are transmitted to the neighbor fibers through the structure formed by the network of interconnected fibers. The degree of transference of dimensional alterations from one fiber to the others may be affected by several factors, such as fiber bonding intensity, fiber curliness, fiber dimensions, fiber orientation and stiffness ratio between axial and cross fiber directions. Due to the fiber network complexity and interactions between the mechanical properties and hygroexpansion, it becomes difficult to properly construe the experimental results of hygroexpansion in terms of both the paper structure and the fiber properties.

Uesaka [1994] derived a general formula for hygroexpansion aiming at a correlation between the individual fiber hygroexpansion and the paper sheet hygroexpansion. In this approach, paper hygroexpansion is determined by two main factors: the individual fiber hygroexpansion, including deformations in axial and cross directions and the efficiency of tension transfer between the network and the individual fibers. Considering an isotropic behavior of the hygroelastic fiber properties in cross direction, i.e., that the properties in fiber longitudinal direction are different from those in cross direction, but accepted that in transversal plane the properties are isotropic, the paper sheet in MD and CD machine direction hygroexpansion may be expressed, approximately, by the following equations:

$$\mu_{11} = \mu_L^f + b_1(\mu_T^f - \mu_L^f) \quad (1a)$$

$$\mu_{22} = \mu_L^f + b_2(\mu_T^f - \mu_L^f) \quad (1b)$$

where:

μ_{11} and μ_{22} MD and CD directions paper hygroexpansion, %

μ_L^f and μ_T^f fiber hygroexpansion in longitudinal and radial directions, %

b_1 and b_2 factors of tension transfer to fiber cross direction when the paper sheet is under tension in longitudinal or transversal direction, respectively.

Expressions (1a) and (1b) show that the paper sheet hygroexpansion results from a combination between cross and longitudinal fiber hygroexpansion (μ_L^f and μ_T^f). The relative importance of each of this components depends on the tension transfer factor (b_1 and b_2) determined by the fiber dimensions and by the bonding degree between the fibers, which, in turn, is affected by structural proper-

estruturais, tais como a orientação de fibras e a densidade do papel, e pelas operações envolvidas na fabricação, tais como a refinação, o tensionamento da folha úmida e as tensões induzidas pelo processo de secagem.

Os efeitos das ligações químicas interfibras sobre a higroexpansibilidade foram analisados por Uesaka; Qi [1994], que observaram ser o grau de ligação entre fibras dependente da área de ligação (determinada, tipicamente, pela pressão usada na operação de prensagem úmida do papel) e da intensidade de ligação (função do número de pontos ligados por unidade de área de ligação). A intensidade das ligações pode ser controlada por meio de utilização de agentes químicos específicos, destinados a aumentar ou diminuir os pontos de ligamento entre os elementos das fibras.

METODOLOGIA

As amostras de papel utilizadas neste estudo foram coletadas em uma máquina industrial de alta velocidade. A máquina em referência, do tipo tela dupla, produz principalmente papéis destinados a utilização em máquinas copiadoras (*copy paper*).

As principais características desta máquina de papel se referem à caixa de entrada com controle de perfil por diluição, formador de tela dupla, prensa de sapata no terceiro *nip*, seções iniciais de secadores configurados em fileira única e aplicador de amido superficial do tipo *film sizer*.

As amostras para este estudo foram coletadas em uma bobina jumbo recém formada, em condições estáveis de operação da máquina de papel. As posições escolhidas correspondem a 10 pontos consecutivos e equidistantes da seção transversal da bobina, entre a borda do lado de comando e a borda do lado de acionamento, conforme ilustrado na **Figura 1**.

ties, such as fiber orientation and paper density, as well as by the operations involved in the manufacture, such as refining, the wet paper web tensioning and the tensions induced by the drying process.

The effects on hygroexpansivity exerted by interfiber chemical bonding were analyzed by Uesaka; Qi [1994], who observed that the bonding degree between fibers depends on the bonding area (typically determined by the pressure used at the wet paper pressing operation) and on the bonding intensity (as a function of the number of bonded points per bonding area unit). The bonding intensity may be controlled by making use of specific chemical agents, intended to increase or reduce the bonding points between the fiber elements.

METHODOLOGY

The paper samples used in this study were collected on a high-speed industrial machine. The reference machine, double wire type, produces mainly papers intended for use on copy machines (copy paper).

The main characteristics of this paper machine relate to the headbox with dilution profiling system, a double wire former, a shoe press in the third nip, initial dryer cylinder sections configured in single tier, and a film sizer type starch coater.

*The samples for this study were collected from a jumbo roll newly formed, under stable paper machine operating conditions. The selected positions correspond to 10 consecutive equidistant points taken on the paper width, between the front side edge and the drive side edge, as shown in **Figure 1**.*

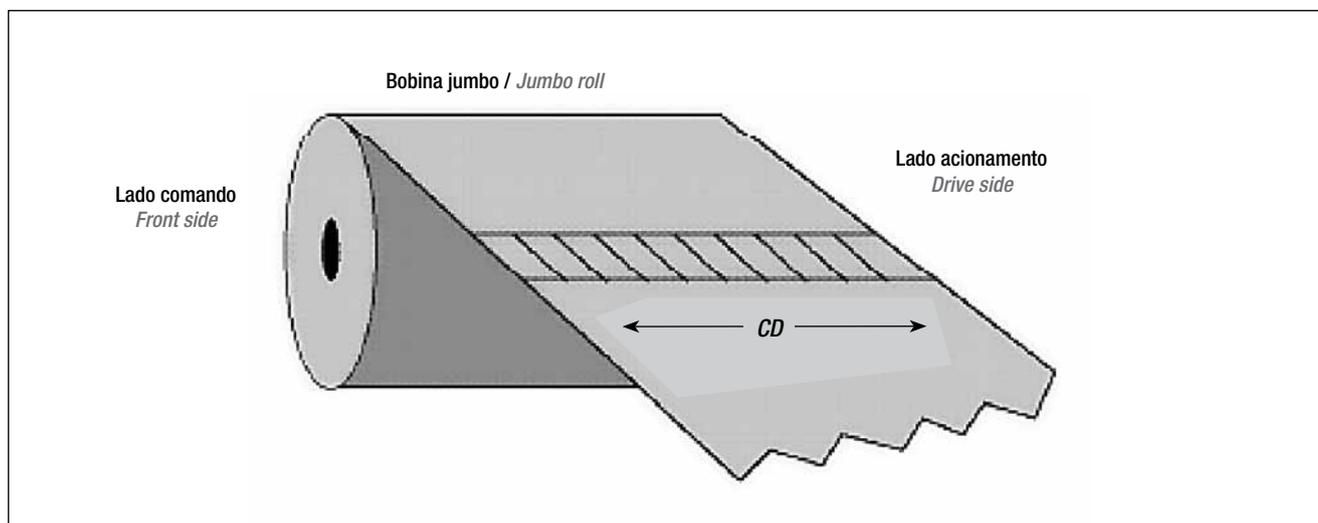


Figura 1. Amostragem na direção transversal (largura do papel: 5278 mm). As amostras foram identificadas em ordem crescente a partir do lado de comando em direção ao lado de acionamento e acondicionadas em invólucros plásticos escuros e lacrados, a fim de conservar a umidade das amostras e isolar a ação da luz sobre elas / **Figure 1.** Cross direction sampling (paper width: 5278 mm). The samples were identified in crescent order from front side to drive side, and conditioned in dark and sealed plastic involucres, in order to maintain the sample moisture and to prevent light action upon them

A determinação da higroexpansibilidade do papel foi realizada por meio de ensaios em equipamento laboratorial³, de acordo com o método de ensaio previsto na norma ISO 8226-1 [1994]. O método consiste em submeter corpos de prova a um condicionamento inicial⁴ e, posteriormente, a variação da umidade relativa do ar na câmara de teste de (33±2)% a (66±2)%, a fim de medir a variação no comprimento da amostra causada pela mudança na umidade do ar. A variação de comprimento dos corpos de prova entre os patamares de umidade relativa é usada para calcular o coeficiente de higroexpansibilidade, de acordo com a equação a seguir:

$$X^* = 1 \times 10^{-1} \frac{(\Delta l_{66} - \Delta l_{33})}{l_0} \times \frac{33}{R_{66} - R_{33}} \quad (2)$$

onde:

- X^* higroexpansibilidade, %
- l_0 comprimento inicial do corpo de prova, mm
- Δl_{33} variação no comprimento do corpo de prova, em equilíbrio, na condição de umidade relativa do ar de (33±2)%, μm
- Δl_{66} variação no comprimento do corpo de prova, em equilíbrio, na condição de umidade relativa do ar de (66±2)%, μm
- R_{33} umidade do ar medida no patamar de (33±2), %
- R_{66} umidade do ar medida no patamar de (66±2), %

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os perfis de higroexpansibilidade do papel mostrados na **Figura 2**, levantados a partir dos dados da **Tabela I**,

Paper hygroexpansivity was determined by means of laboratory tests³, according to the testing method established in ISO 8226-1 standard [1994]. This method consists of submitting the test samples to an initial conditioning⁴ and, subsequently, to a variation of the relative humidity in the air inside the test room, corresponding to (33±2)% to (66±2)%, in order to measure the sample length variation caused by the change in air humidity. Test piece length variation between the humidity thresholds is used to calculate the hygroexpansivity coefficient, according to the following equation:

$$X^* = 1 \times 10^{-1} \frac{(\Delta l_{66} - \Delta l_{33})}{l_0} \times \frac{33}{R_{66} - R_{33}} \quad (2)$$

where:

- X^* hygroexpansivity, %
- l_0 test piece initial length, mm
- Δl_{33} variation of test piece length, in equilibrium, under (33±2)% air relative humidity condition, μm
- Δl_{66} variation of test piece length, in equilibrium, under (66±2)% air relative humidity condition, μm
- R_{33} air humidity measured at (33±2) threshold, %
- R_{66} air humidity measured at (66±2) threshold, %

RESULTS AND DISCUSSION

The paper hygroexpansivity profiles shown in Figure 2, obtained from data in Table I, represent the

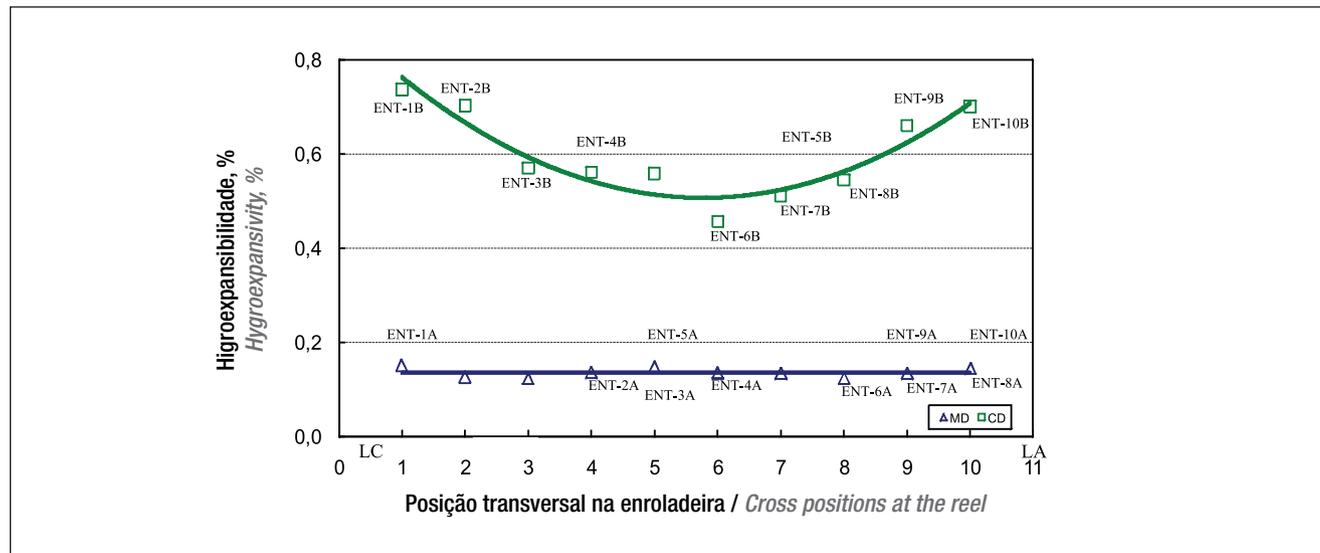


Figura 2. Perfis de higroexpansibilidade nas direções MD e CD do papel, medidos ao longo de posições transversais da folha na enroladeira da máquina
Figure 2. Hygroexpansivity profiles in MD and CD directions, measured along paper sheet cross directions positions, at the paper machine reel

³ Laboratório do Departamento de Engenharia Química da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Portugal
 Laboratory of the Chemical Engineering Department of the Faculty of Sciences and Technology, University of Coimbra, Portugal

⁴ O condicionamento inicial é realizado a umidade relativa de (22±3)%, pelo período mínimo de 30 min, com a finalidade de assegurar que todos os corpos de prova a serem testados se encontrem em condição similar de umidade de equilíbrio, antes do início do ensaio de higroexpansibilidade / Initial conditioning is carried out at (22±3)% relative humidity for a minimum period of 30 min, in order to ensure that all test pieces be tested in similar equilibrium moisture conditions, prior to the hygroexpansivity test start

Tabela I. Propriedades medidas nas amostras coletadas na direção transversal da enroladeira (posições indicadas de forma crescente do lado comando ao lado acionamento da máquina) / Table I – Properties measured in samples collected in cross machine direction at the reel (positions indicated in crescent sequence, from front side to drive side)

Propriedades do papel Paper properties	Posição na enroladeira e identificação das amostras Position at the reel and sample identification										
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
	MD	ENT1A	ENT2A	ENT3A	ENT4A	ENT5A	ENT6A	ENT7A	ENT8A	ENT9A	ENT10A
	CD	ENT1B	ENT2B	ENT3B	ENT4B	ENT5B	ENT6B	ENT7B	ENT8B	ENT9B	ENT10B
Gramatura, g.m ⁻² / Grammage, g.m ⁻²		77,7	77,5	77,4	77,1	77,2	76,96	76,85	77,06	77,02	77,23
Espessura, µm / Thickness, µm		96	97	98	99	100	99	100	100	98	98
Corpo (bulk), cm ³ .g ⁻¹ / Bulk, cm ³ .g ⁻¹		1,24	1,26	1,25	1,27	1,30	1,29	1,29	1,30	1,27	1,24
Umidade, % / Moisture, %		6,5	7,0	6,8	6,6	7,3	7,4	7,3	7,0	7,2	7,1
Carga mineral, % / Filler content, %		17,9	18,2	18,1	17,9	18,0	17,9	18,3	18,5	18,7	18,5
Formação - índice, g.m ⁻² Formation - index, g.m ⁻²		4,81	4,92	5,05	4,89	4,86	4,79	5,08	4,69	4,93	4,95
Formação, esp., g ^{1/2} .m ⁻¹ Formation, specific, g ^{1/2} .m ⁻¹		0,55	0,56	0,58	0,555	0,56	0,55	0,59	0,54	0,57	0,57
TSO, ° (grau) / TSO, ° (degree)		-5,20	-6,56	-3,40	-1,06	-1,88	-1,48	-3,23	-2,62	1,60	-2,68
TSI / TSI	MD/CD	3,34	3,18	3,11	3,03	2,86	2,81	2,93	3,04	3,14	3,40
Porosidade, s/100mL Porosity, s/100mL		11,6	11,4	11,2	10,9	11,2	10,6	11,16	11,24	10,80	12,04
Aspereza, mL.min ⁻¹ Roughness, mL.min ⁻¹	LF	173	195	185	211	200	206	205	203	204	235
	LT	178	188	188	214	211	199	210	209	205	222
Resistência à tração, kN.m ⁻¹ Tensile strength, kN.m ⁻¹	MD	5,74	5,29	6,19	5,81	5,98	5,50	5,73	5,47	5,67	5,66
	CD	1,64	1,68	1,75	1,77	2,00	1,87	1,84	1,93	1,70	1,56
	MD/CD	3,50	3,15	3,54	3,29	2,99	2,94	3,12	2,84	3,33	3,62
Índice de tração, N.m.g ⁻¹ Tensile Index, N.m.g ⁻¹	MD	73,84	68,31	80,01	75,30	77,50	72,6	74,6	71,0	73,6	73,3
	CD	21,12	21,72	22,59	22,89	25,90	24,6	23,9	25,0	22,1	20,3
Alongamento, % / Elongation, %	MD	2,6	2,5	2,6	2,6	2,4	2,3	2,3	2,5	2,4	2,4
	CD	8,5	7,7	7,4	6,5	6,2	5,2	6,3	6,3	7,0	8,6
Energia abs. na tração, J.m ⁻² Tensile energy abs., J.m ⁻²	MD	99,1	87,8	107,8	101,3	96,3	85,9	89,2	90,9	93,5	92,1
	CD	108,9	100,8	99,8	88,5	96,5	75,0	89,1	94,2	91,7	103,9
Rigidez à tração, kN.m ⁻¹ Tensile stiffness, kN.m ⁻¹	MD	619,3	596,9	638,8	628,0	651,9	648,8	649,4	625,1	618,5	628,7
	CD	136,5	148,8	159,2	162,3	188,0	175,7	167,9	182,7	151,0	131,3
Mód. de elasticidade, GPa Module of elasticity, GPa	MD	6,45	6,09	6,59	6,41	6,52	6,55	6,56	6,25	6,31	6,55
	CD	1,42	1,52	1,64	1,66	1,88	1,77	1,70	1,83	1,54	1,37
Compr. auto-ruptura, km Breaking Length, km	MD	7,53	6,96	8,16	7,68	7,90	7,29	7,60	7,24	7,50	7,47
	CD	2,15	2,21	2,30	2,33	2,64	2,48	2,44	2,55	2,25	2,07
Resistência ao rasgo, gf Tear resistance, gf	MD	54,3	54,8	53,2	54,3	55,8	52,6	53,9	56,4	55,3	55,7
	CD	69,5	71,1	69,3	67,6	65,1	65,6	66,1	65,9	68,7	66,0
Rigidez (Taber), gf.cm Stiffness (Taber), gf.cm	MD	2,05	2,05	2,17	2,11	2,17	2,18	2,17	2,12	2,06	1,98
	CD	0,64	0,67	0,73	0,73	0,80	0,78	0,76	0,76	0,74	0,65
Res. Estouro (Mullen), kPa Burst strength (Mullen), kPa		211,0	212,9	226,2	222,1	233,7	241,7	218,3	210,4	200,7	204,3
Higroexpansibilidade, % Hygroexpansivity, %	MD	0,151	0,126	0,123	0,136	0,148	0,135	0,134	0,124	0,134	0,144
	CD	0,736	0,702	0,570	0,560	0,558	0,456	0,510	0,544	0,660	0,700

representam resultados de medições realizadas em amostras coletadas em uma bobina jumbo, ao longo da direção transversal da folha, na enroladeira da máquina. As tendências observadas nesses perfis podem ser analisadas em termos do efeito da contração da folha durante o processo de secagem e da correlação entre o encolhimento do papel e a higroexpansibilidade (estas propriedades se relacionam de forma diretamente proporcional)⁵.

O perfil da variação de higroexpansibilidade na direção CD é resultante do encolhimento transversal da folha de papel durante o processo de secagem. Embora os passes abertos no extremo úmido da máquina produzam certa contração da folha, a remoção de água do papel, na seção de secagem, é responsável pela maior parte do encolhimento da folha.

Uma vez que o papel analisado neste trabalho apresenta um alto grau de orientação de fibras na direção MD⁶, o encolhimento natural da folha é significativamente maior na direção CD, mesmo sob efeito de tensões transversais aplicadas ao papel na seção de secagem. A pressão exercida pelas telas secadoras tensionadas sobre o papel durante sua passagem alternada sobre os cilindros secadores⁷ causa certa resistência ao encolhimento da folha, contudo, essa restrição é relaxada de forma cíclica, à medida que a folha percorre os passes entre os secadores. A passagem da folha na região compreendida entre um cilindro secador e o subsequente resulta em encolhimento transversal maior nas áreas próximas às bordas da folha, região onde a retenção do papel é menor - segundo estudo de Wedel [1989b], o grau de encolhimento nas extremidades da folha é próximo ao do encolhimento natural do papel, isto é, ao da secagem livre. Na região central da máquina, a folha se encontra também parcialmente retida pelas partes mais externas do papel, o que resulta em um encolhimento transversal menor nesta área do que nas laterais da folha.

O encolhimento da folha durante o processo de secagem tem efeito importante sobre várias propriedades do papel, sendo de primordial interesse a forma como afeta as propriedades elásticas e a estabilidade dimensional. O encolhimento irregular na direção transversal da máquina é, portanto, a causa principal das variações das propriedades do papel na direção CD. Vários estudos comprovaram a influência do encolhimento transversal da folha sobre o alongamento, o módulo de elasticidade, a resistência à tração, a TEA e o encanoamento e higroexpansibilidade, medidos na direção

results of measurements made in samples collected from a jumbo roll, in paper sheet cross direction, at the paper machine reel. The trends observed in these profiles may be analyzed as to the paper sheet shrinkage effect during the drying process, as well as regarding the correlation between paper shrinkage and hygroexpansivity (these properties relate to each other in a directly proportional way)⁵.

The CD hygroexpansivity profile results from the paper sheet cross shrinkage during the drying process. Although the open draws at the machine wet end produce some paper web shrinkage, water removal from the paper at the dryer section is responsible for most of the paper shrinkage.

Since the paper analyzed in this study features a high degree of MD-oriented fibers⁶, the natural paper sheet shrinkage is significantly higher in cross direction, even under the effect of cross stresses applied on the paper at the dryer section. The pressure exerted by the tensioned dryer fabrics on the sheet throughout its passage in alternate sequence through the dryer cylinders⁷ offers a certain resistance against paper sheet shrinkage. This restraint, however, is released, in a cyclic way, as the paper sheet runs in between the dryer cylinders. The paper sheet passage through the area between a dryer cylinder and the next one results in higher cross shrinkage in the areas close to the paper sheet edges, where paper retention is lower - according to a study by Wedel [1989b], the shrinkage degree on the paper sheet edges is close to the value of the natural paper shrinkage (that is, to that of the free drying). In the central area of the machine, the paper web is also partially retained by the more external parts of the paper, which results in lower cross shrinkage in this area than that occurred on the paper sheet sides.

Shrinkage of the sheet during the drying process exerts an important effect on several paper properties, and the way it affects the paper elastic properties and dimensional stability is of major interest. Irregular shrinkage in machine cross direction is, therefore, the main cause for CD variations in paper properties. Several studies have evidenced the influence of paper sheet cross shrinkage on elongation, module of elasticity, tensile strength, TEA and curling, and hygroexpansivity, measured in paper cross

⁵ Esta correlação foi apresentada inicialmente por Nordman [1958] e posteriormente discutida por outros pesquisadores [Galay, 1973; Wedel, 1989a; Chance, 1991; Pulkowsky, 1991]

This correlation was initially presented by Nordman [1958] and later discussed by other researchers [Galay, 1973; Wedel, 1989a; Chance, 1991; Pulkowsky, 1991]

⁶ Ver resultados das medições de TSO e TSI, entre outros, na Tabela I

See, among others, the results of TSO and TSI measurements in Table I

⁷ Neste caso, configurados em duas fileiras (two-tier)

In this case, arranged in two tiers

CD do papel. A **Figura 3** mostra o efeito do encolhimento da folha sobre o corpo do papel, observado pelo aumento da densidade nas bordas.

O perfil de alongamento medido na direção CD (**Figura 4**) mostra a influência do encolhimento transversal do papel sobre essa propriedade – os maiores valores de alongamento foram encontrados para posições relativas às bordas da folha de papel.

Gates; Kenworth [1963] demonstraram que existe uma correlação aproximadamente linear entre o alongamento e o encolhimento do papel válida para as direções MD e CD da folha [Wedel, 1989b]. Desta forma, a medição do alongamento transversal do papel pode ser usada como indicação da magnitude e localização do encolhimento transversal da folha. Relembrando estudo de Nordman [1958], no qual se mostrou a existência de correlação entre o encolhimento e a higroexpansão da folha, pode-se, em função do exposto no parágrafo anterior, estabelecer uma relação entre higroexpansibilidade e alongamento do papel observada nos perfis similares encontrados para as direções MD e CD (Figuras 2 e 4), representada graficamente na **Figura 5**.

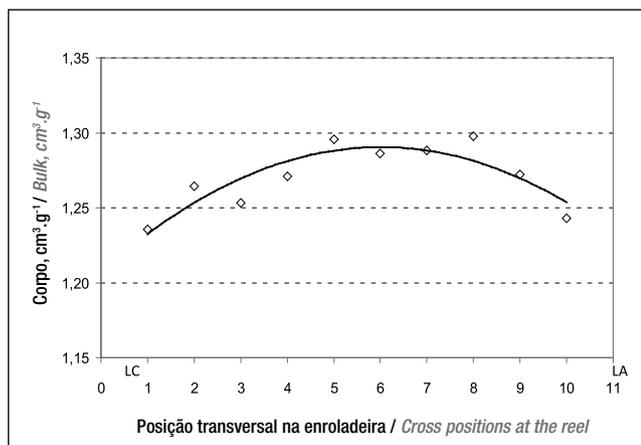


Figura 3. Perfil transversal do corpo na enroladeira da máquina de papel / **Figure 3.** Cross bulk profile at the paper machine reel

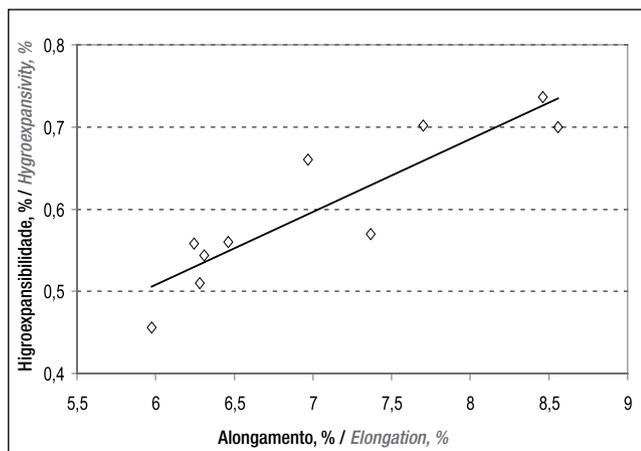


Figura 5. Higroexpansibilidade vs. alongamento do papel na direção CD / **Figure 5.** CD paper hydroexpansivity vs. elongation.

direction. **Figure 3** shows the effect of paper shrinkage on paper bulk, observed through density increase on the paper sheet edges.

Elongation profile measured in cross direction (**Figure 4**) shows the influence of paper cross shrinkage on this property – the highest elongation values were found for the positions corresponding to the paper sheet edges.

Gates; Kenworth [1963] showed that there is an approximately linear correlation between paper elongation and shrinkage, valid for the paper longitudinal and cross directions [Wedel, 1989b]. Thus, measurement of the paper cross elongation may be used as an indication of the magnitude and location of paper sheet cross shrinkage. Recalling a study by Nordman [1958], showing the existence of a correlation between the paper sheet shrinkage and hygroexpansion, it is possible, based on the exposed in the previous paragraph, to establish a relation between paper hygroexpansivity and elongation observed in similar profiles found for MD and CD (Figures 2 and 4), graphically represented in **Figure 5**.

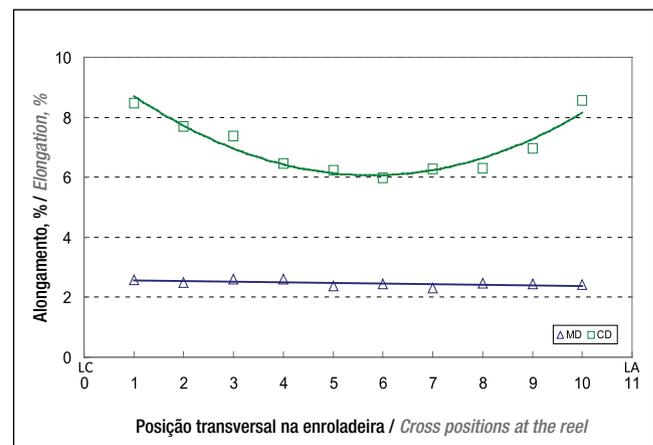


Figura 4. Perfis de alongamento MD e CD no sentido transversal da enroladeira da máquina / **Figure 4.** MD and CD elongation profiles across the paper machine reel

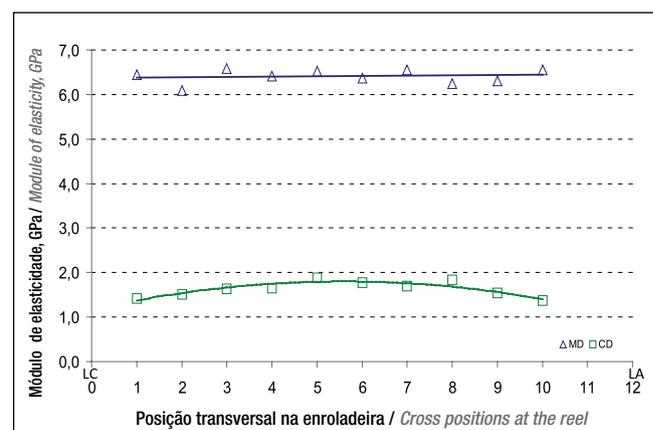


Figura 6. Perfis do módulo de elasticidade nas direções MD e CD do papel ao longo das posições transversais / **Figure 6.** MD and CD paper elasticity module profiles along the CD positions

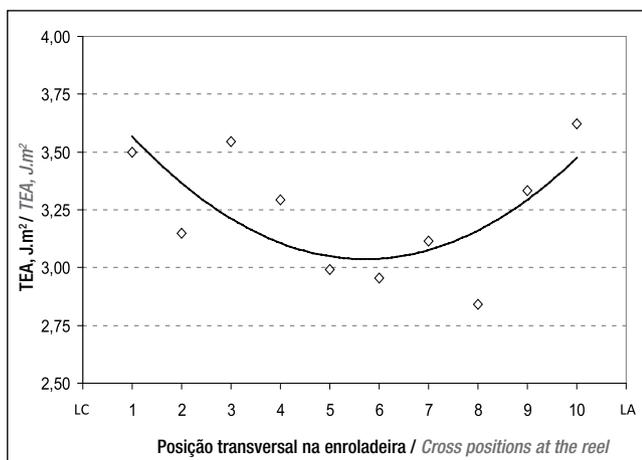


Figura 7. Perfil da razão de resistência à tração MD/CD ao longo das posições transversais *Figure 7. MD/CD tensile strength ratio profiles along the CD positions*

Na direção MD, o encolhimento do papel durante a secagem é praticamente nulo, pois se encontra fortemente retido pelo tensionamento longitudinal da folha nos passes entre as baterias de secagem e pelo atrito entre ela e a superfície dos cilindros secadores. Como resultado da operação de secagem sob forte tensão aplicada longitudinalmente na folha de papel, ou seja, com restrição ao encolhimento, as tensões residuais resultantes determinam o baixo valor de higroexpansibilidade nessa direção. Uma vez que a tensão aplicada à folha apresenta certa uniformidade em todas as posições transversais da folha, o perfil de higroexpansibilidade é aproximadamente plano. Por consequência, o perfil transversal de outras propriedades na direção MD também apresenta característica uniforme, como o alongamento (Figura 4) e o módulo de elasticidade (Figura 6).

A razão MD/CD da resistência à tração também é afetada pelo encolhimento irregular do papel, conforme mostra a Figura 7. Os valores mais altos encontrados nas bordas da folha se devem à diminuição da resistência à tração na direção CD nas posições laterais da folha, onde o papel sofreu maior encolhimento, pois na direção MD esta propriedade se mantém relativamente constante (ver dados na Tabela I). De forma similar, o perfil de energia absorvida na tração (TEA) na direção CD (Figura 8) reflete a mesma forma geral em função do aumento do alongamento do papel nas bordas da folha, enquanto o perfil do módulo de elasticidade (Figura 6) apresenta o inverso, como esperado. Nas bordas do papel ocorre diminuição na resistência à tração e aumento de alongamento na direção CD, simultaneamente.

CONCLUSÃO

As medições realizadas na direção transversal da enroladeira mostram a grande influência da operação de secagem e da configuração da seção de secadores nos resultados do perfil de higroexpansibilidade do papel, pois mostram que seções de secadores dispostos em duas fileiras permitem grande encolhimento nas bordas da folha de papel e conseqüente aumento de higroexpansibilidade nessa região. Os resultados sugerem

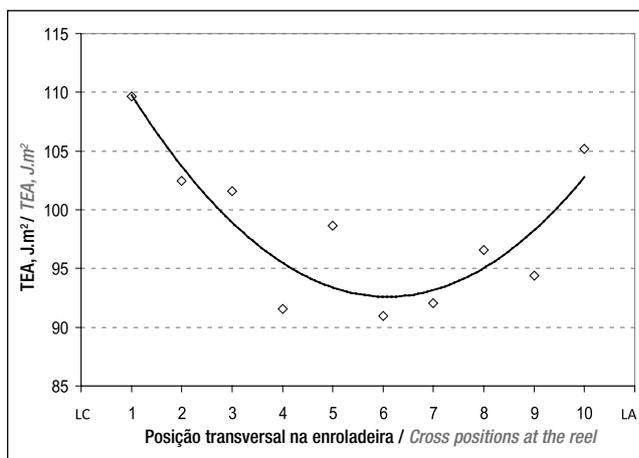


Figura 8. Perfil da TEA (direção CD) ao longo das posições transversais *Figure 8. Profile of TEA (CD) along the cross positions*

In machine direction, there is virtually no paper shrinkage during drying, since shrinkage is strongly restrained by the longitudinal tensioning of the sheet in the draws between dryers sections, and as a result of friction between the sheet and the surfaces of the dryers cylinders. As a consequence of the drying operation under high tension applied to the paper sheet in longitudinal direction, that is, with shrinkage restraint, the resulting residual stresses determine the low MD higroexpansivity value. Since the tension applied to the sheet features certain uniformity for the entire paper sheet cross direction positions, the higroexpansivity profile is approximately flat. Consequently, the cross profile of other properties in MD also features uniform characteristic, such as elongation (Figure 4) and module of elasticity (Figure 6).

The MD/CD tensile strength ratio is also affected by irregular paper shrinkage, as shown in Figure 7. The highest values found on the paper sheet edges result from a tensile strength reduction in cross direction in the paper sheet edge positions, where the paper suffered higher shrinkage, since, in machine direction, this property remains relatively constant (see data in Table I). Similarly, the CD tensile energy absorption (TEA) profile (Figure 8) reflects the same general shape, as a function of elongation increase on the paper sheet edges, while the elasticity module profile (Figure 6) presents, as expected, the opposite situation. On the paper edges a tensile strength reduction and an increased CD elongation occur, simultaneously.

FINDINGS

The measurements made in reel cross direction show the great influence of both the drying operation and the dryer section layout on the paper higroexpansivity profile results, evidencing that dryer sections with dryer cylinders arranged in two tiers allow high shrinkage on the paper sheet edges, with consequent increase in higroexpansivity in this region. The results suggest

que seções de secagem formadas por fileira única de secadores seriam recomendadas, pois oferecem maior retenção da folha na direção transversal da máquina e produzem diminuição no nível e melhoria na uniformidade da higroexpansibilidade na direção CD do papel. O perfil de encolhimento transversal também influencia outras propriedades do papel.

Devido a esse fato, se estabelece uma relação diretamente proporcional entre a higroexpansibilidade e o alongamento e a razão MD/CD da resistência à tração. De forma inversa, observa-se a relação entre higroexpansibilidade e corpo. ▲

that dryer sections with single tier should be recommended, since they offer higher paper sheet retention in cross direction, and produce hygroexpansivity level reduction and paper uniformity improvement in cross direction. The CD shrinkage profile affects other paper properties as well.

For this reason, a directly proportional relation is established between hygroexpansivity and elongation and the MD/CD tensile strength ratio. Inversely, is the relation observed between hygroexpansivity and bulk. ▲

REFERÊNCIAS / REFERENCES

1. Chance, L. (1991). *Restrained Drying: Commercial Experience*. APPITA.
2. Gallay, W. (1973). *Stability of dimensions and forms of paper*, 56(11) 54-63; 56(12) 90-95. TAPPI.
3. Gates, E.R.; Kenworthy, I.C. (1963). *Effects of drying shrinkage and fibre orientation on some physical properties of paper*, 4 (5) 485-492. Paper Technology.
4. Nordman, L.S. (1958). *Laboratory Investigations into the Dimensional Stability of Paper*, 41(1) 23-30. TAPPI.
5. Pulkowski, J.H. (1991). *Restraint drying with the Bel-Champ single tier dryer*. CPPA Annual Meeting, Montreal, Canada.
6. Uesaka, T. (1994). *General formula for hygroexpansion of paper*, 29(9) 2373-2377. Journal of Materials Science.
7. Uesaka, T.; Qi, D. (1994). *Hygroexpansivity of paper - effects of fiber-to-fiber bonding*, 20(6) J175-J179. Journal of Pulp and Paper Science.
8. Wedel, G.L. (1989a). *No draw drying restraint*. April 93-97 TAPPI Journal.
9. _____ (1989b). *Drying Restraint in a Single-Tier Dryer Section*. TAPPI Proceedings, Annual Meeting

Edital ABTCP

ASSEMBLÉIA GERAL ORDINÁRIA da ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel

Em conformidade com o disposto nos artigos 18, 19 “d”, 22, 27 e 43, 31 e 63, dentro do prazo previsto no artigo 20 e seu parágrafo único, dos Estatutos da ABTCP, são os senhores associados convocados a se reunirem durante o 43º CONGRESSO E EXPOSIÇÃO DE CELULOSE E PAPEL – ABTCP2010, a realizar-se no **TRANSAMÉRICA EXPO CENTER**, Av. Dr. Mário Villas Boas Rodrigues, nº 387 - Santo Amaro, São Paulo, Capital, de 04 a 06 de outubro de 2010, com reunião plenária das 10h00 às 12h00 do dia 06 de outubro, na Sala Brasília I, no piso inferior do **Hotel TRANSAMÉRICA** para cumprimento do disposto nos artigos 18, 19 e 27º dos Estatutos:

1. Relatório sobre as atividades de 2010
2. Balanço Patrimonial 2010 e Prestação de contas 2010
3. Eleição do Conselho Executivo
4. Reeleição do Conselho Executivo
6. Assuntos de Interesse da Associação.

Não havendo número estatutário à hora marcada, de acordo com o artigo 20, em seu parágrafo único, será a Assembléia Geral Ordinária instalada, decorrido o intervalo de 1 (uma) hora da convocação, com qualquer número de associados presentes.

São Paulo, 01 de agosto de 2010

LAIRTON LEONARDI
Presidente

VILMAR SASSE
Coordenador Cons. Diretor

ELEIÇÃO DO CONSELHO EXECUTIVO – GESTÃO 2010/2013

Alberto Mori	MD Papéis
Carlos Roberto de Anchieta	Rigesa
Carmen Gomez Rodrigues	Buckman Laboratórios
Joaquim Moretti	Melhoramentos Florestal
Rodrigo Vizotto	CBTI
Wanderley Flosi Filho	Ashland Especialidades Químicas

REELEIÇÃO DO CONSELHO EXECUTIVO – GESTÃO 2009/2012

Celso Luiz Tacla	Metso Paper Sulamericana Ltda
Marcio David de Carvalho	CMPC - Melhoramentos Papéis Ltda
João Florêncio de Costa	Fibra
Nestor de Castro Neto	Voith Paper