

A INFLUÊNCIA DA HOMOGENEIDADE DAS APARAS NA RECICLAGEM DO PAPEL

Márcia B. Cardoso¹, Patrícia Kaji Yasumura¹, Karina B. M. G. Porto¹, Caroline H. Costa¹, Daniela Colevati Ferreira¹, Renato R. Fioritti¹, Maria Luiza Otero D'Almeida¹

¹ Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. Brasil

ABSTRACT

Pressões ambientais têm colocado em destaque a reciclagem de materiais, sendo que no caso do papel estas pressões levam a expectativa de aumento das taxas de recuperação de fibras de produtos usados de papel e da obtenção de fibras recicladas de melhor qualidade. O uso de aparas de produtos de mesmo tipo permite a aplicação de tecnologia de reciclagem desenhada para o perfil do material e a obtenção de fibras de melhor qualidade e menos contaminadas. Estima-se que no Brasil sejam descartadas anualmente cerca de 150 mil toneladas de papel proveniente de livros didáticos procedentes da rede pública de ensino, sendo que esta quantidade pode ser ainda maior, quando são considerados os livros procedentes da rede particular de ensino. Este estudo teve como objetivo verificar o comportamento em relação à reciclagem de amostras de aparas de livros didáticos. Para realização deste estudo, foram preparadas duas amostras, uma constituída apenas por aparas do miolo dos livros (Amostra A) e outra constituída por aparas do miolo e das capas, na proporção normalmente encontrada nos livros (Amostra B), as quais foram submetidas a dois tratamentos distintos: desagregação em água e polpação seguida de destintamento por flotação. Com relação aos processos de reciclagem, a desagregação com água leva a papéis com alto teor de sujidade, o que limita sua aplicação a produtos que não exigem requisitos de aparência. Por outro lado, a polpação seguida de destintamento, no caso de aparas somente do miolo do livro, leva a pastas com pouca sujidade e com alvura equivalente a média encontrada nos papéis desses livros, os quais são manufaturados com fibras virgens branqueadas. Além disso, a reciclagem empregando as operações de polpação e destintamento por flotação, nas condições usadas neste estudo, não tem influência significativa sobre as propriedades de resistência do papel, apesar do processo de flotação levar a certa melhora nestas propriedades, devido a eliminar parte dos finos presentes na pasta celulósica. Os resultados obtidos neste estudo permitiram concluir que os livros apresentam características semelhantes que levam à obtenção de aparas homogêneas e, assim, facilitam os processos de reciclagem, porém, há necessidade de uma logística para viabilizar seu uso como nicho de aparas, uma vez que o descarte de livros didáticos é pulverizado e se concentra praticamente em determinada época do ano.

Keywords: *paper; recycling; flotation.*

1. INTRODUÇÃO

O Brasil recicla atualmente em torno de 4 milhões de toneladas de papel por ano, o que representa 43,5 % do total de papéis consumidos no país durante o ano (BRACELPA, 2011). Deve-se considerar que, do total de papéis consumidos no país, alguns não são recicláveis, como papel sanitário usado, e outros não estão disponíveis para reciclagem, como documentos e registros.

O processo de reciclagem embora na maioria dos casos represente redução do uso de recursos naturais (D'Almeida e Neves, 2000) é considerado por Holik (2000) mais complexo do que o processo de obtenção de fibras virgens. Isto por duas razões: os papéis que serão recuperados geralmente consistem em uma mistura de vários tipos de fibras ou categoria de papéis e têm, também, uma quantidade de contaminantes e outras substâncias prejudiciais ao processo de reciclagem.

As substâncias contaminantes podem ser aditivos incorporados na formulação do papel como cargas minerais, corantes, revestimentos e outros agentes químicos funcionais, substâncias adicionadas ao papel de acordo com seu destino final, como tintas de impressão, laminações, adesivos; materiais misturados com o papel durante seu ciclo de vida e/ou coleta, como clipes, arames, elásticos e impurezas (areia, pedras).

As fibras celulósicas recicladas devem atender a critérios de qualidade definidos para um determinado produto. Os critérios de qualidade não dizem respeito apenas às características das fibras em si, mas também à presença de contaminantes. Deste modo, o processo de reciclagem tem como objetivo isolar fibras celulósicas com as melhores características possíveis e com a menor quantidade de contaminantes que o processo empregado permite. Os

processos de reciclagem se apoiam em operações mecânicas e, algumas vezes, de destintamento (normalmente polpação com soda e flotação), sendo que a qualidade desejada para o produto final é que rege não apenas as operações que serão empregadas, como a extensão das mesmas.

Pressões ambientais vêm colocando em destaque a reciclagem de materiais, sendo que no caso do papel estas pressões levam a expectativa de aumento das taxas de recuperação de fibras de produtos usados de papel e da obtenção de fibras recicladas de melhor qualidade (Ackermann et al, 2000), o que demanda avanços tecnológicos nos processos de reciclagem. Uma tendência é o uso de aparas procedentes de tipos específicos de produtos de papel, que permitem a aplicação de tecnologia de reciclagem desenhada para o perfil do material e a obtenção de fibras de melhor qualidade e menos contaminadas. Como exemplo tem-se a reciclagem de embalagens cartonadas para líquidos (embalagem longa vida) e de papel siliconado destinado a etiquetas autoadesivas. Para os dois casos já existem unidades industriais de reciclagem operando com esses tipos de aparas e considerando suas particularidades.

Considerando a tendência mencionada, este estudo enfocou um tipo de apara particular que é a de livros didáticos. Segundo a norma brasileira ABNT NBR 14869 (2012), livros didáticos são aqueles que se destinam à aprendizagem de conhecimentos contidos nas matérias oficiais de ensino fundamental e ensino médio, permitindo ao aluno incorporar o conhecimento de forma estruturada e progressiva.

No Brasil, quando se fala em livro didático não há como não mencionar o Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) do Ministério da Educação, tanto pelo volume de livros que envolve como por ser o mais antigo dos programas voltados à distribuição de obras didáticas aos estudantes da rede pública de ensino brasileira. Iniciou-se com outro nome em 1929 e recebeu a denominação atual apenas em 1985 com a edição do Decreto nº 91.542, de 19/8/85 (FNDE, 2011).

Se for considerado o número de livros didáticos distribuídos na rede pública de ensino em 2011, tendo estes como características médias: papel miolo com gramatura de 75 g/m²; formato de (20,5 x 27,5) cm e 250 páginas, tem-se um total de 150 mil toneladas de papel, que serão descartadas anualmente e que poderiam ser recicladas. Este número será ainda maior, quando se adiciona a ele o dos livros procedentes da rede particular de ensino.

Os livros didáticos são usualmente impressos em quatro cores e a maioria apresenta, como acabamento, lombada quadrada e miolo colado com cola de poliuretano. A capa é de cartão de gramatura por volta de 250 g/m² e normalmente laminada ou envernizada.

Este estudo teve como objetivo verificar o comportamento em relação à reciclagem de amostras de aparas de livros didáticos, formadas apenas com o miolo do livro e com mistura proporcional do miolo e capa.

2. MÉTODOS

Foram selecionados aleatoriamente seis títulos de livros didáticos procedentes de editoras distintas. Foram preparadas duas amostras para os ensaios de reciclagem: uma constituída apenas por aparas do miolo dos livros (Amostra A) e outra constituída por aparas do miolo e das capas, na proporção encontrada nos livros (Amostra B). Na confecção das aparas não foram utilizadas as lombadas dos livros, as quais foram descartadas. A Figura 1 mostra aparas da capa e do miolo.

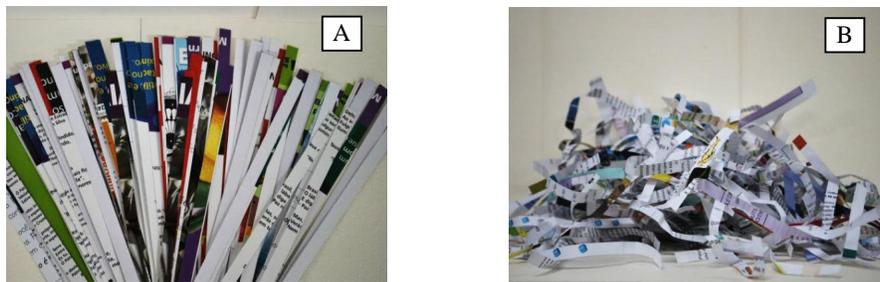


Figura 1 – Aparas das capas (A) e do miolo (B) dos livros utilizados.

As Amostras A e B foram, respectivamente, submetidas a dois tratamentos diferentes: desagregação em água e polpação seguida de destintamento por flotação.

2.1 Desagregação em água

A desagregação das Amostras A e B foi efetuada em meio aquoso empregando o procedimento descrito na norma ABNT NBR ISO 5263-1 (2005). Nas pastas obtidas, foram determinados o grau de resistência à drenagem, o teor de cinzas e o de extrativos seguindo, respectivamente, os procedimentos descritos nas normas: ABNT NBR 14031(2004), ABNT NBR 13999 (2003), ABNT NBR 14578 (2000). Com as pastas foram preparadas folhas em laboratório seguindo o procedimento descrito na norma ABNT NBR ISO 5269-1 (2006). Nas folhas formadas, foram determinadas a resistência à tração, segundo norma ABNT NBR NM ISO 1924-2 (2001) e a resistência à tração zero-span, segundo norma TAPPI T 231 cm (2007). Para cálculo do índice de tração foi determinada também a gramatura pelo método da norma ABNT NBR NM ISO 536 (2000).

2.2 Polpação

Em uma autoclave eletrônica (modelo AU/E-20, fabricado pela Regmed Indústria Técnica de Precisão Ltda), 400 g de aparas, previamente umedecidas, foram suspensas em 15,6 L de água contendo 20 g de hidróxido de sódio. A polpação foi realizada a temperatura de 121 °C durante 5 minutos. Após este período, a dispersão resultante foi filtrada e lavada através de uma tela de 200 mesh e a pasta recolhida. Nas pastas obtidas foi determinado o grau de resistência à drenagem segundo a norma ABNT NBR 14031(2004) e com elas foram preparadas folhas em laboratório seguindo o procedimento descrito na norma ABNT NBR ISO 5269-1 (2006). Nas folhas formadas foram determinadas a alvura, a resistência à tração e a resistência à tração zero-span, seguindo, respectivamente os procedimentos descritos nas normas ABNT NBR NM ISO 2470 (2001), ABNT NBR NM ISO 1924-2 (2001), TAPPI T 231 cm (2007).

O efluente procedente da filtração da pasta foi recolhido e nele foram determinados o teor de sólidos totais (evaporação em banho de água e secagem do resíduo em estufa), o teor de sólidos suspensos (resíduo retido em filtro de porosidade de 1 µm) e a cor (valor da absorvância do filtrado em 465 nm convertida em unidades de cor a partir de uma curva padrão construída a partir de soluções de platina-cobalto de concentrações diferentes).

2.3 Destintamento

Frações de pastas celulósicas procedentes da polpação foram submetidas a processo de destintamento por flotação. Em uma célula de flotação (modelo FORMAX Deink Cell, número de catálogo L-100, fabricado pela Adirondack Machine Corporation) foram suspensos 100 g de pasta celulósica em 25 L de água e 1 mL de detergente comercial. A pasta celulósica permaneceu na célula de flotação a temperatura de 25°C e vazão de ar de 9,5 L/min por 20 min. Após este período, a pasta celulósica foi filtrada e lavada através de uma tela de 200 mesh e recolhida.

Nas pastas destintadas, o grau de resistência à drenagem foi determinado segundo a norma ABNT NBR 14031(2004). Foram preparadas folhas em laboratório com as pastas seguindo o procedimento descrito na norma ABNT NBR ISO 5269-1 (2006). Nas folhas formadas foram determinadas a alvura, a resistência à tração e a resistência à tração zero-span, seguindo, respectivamente os procedimentos descritos nas normas ABNT NBR NM ISO 2470 (2001), ABNT NBR NM ISO 1924-2 (2001), TAPPI T 231 cm (2007).

Os efluentes procedentes da flotação foram analisados do mesmo modo descrito no item 2.2. Um dos efluentes consistia da fração líquida recolhida na filtragem da pasta e o outro da espuma formada no processo e escumada. No caso da espuma foram colocadas gotas de álcool etílico para agilizá-lo no processo de liquefação da espuma.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Desagregação em água

As pastas resultantes da desagregação das Amostras A e B apresentaram o mesmo grau de resistência à drenagem: 27 °SR. Na Tabela 1 constam os resultados para os ensaios realizados nas pastas e nas folhas formadas.

Tabela 1. Resultados dos ensaios realizados nas folhas formadas após a desagregação das aparas

Ensaio	Propriedades	Amostra A (aparas do miolo)	Amostra B (aparas do miolo + aparas da capa)
Na pasta	Cinzas, %	10,4 ± 0,28	11,54 ± 0,43
	Extrativos, %	0,23 ± 0,02	0,17 ± 0,03
Na folha	Gramatura, g/m ²	81,9	75,9
	Espessura, mm	0,146 ± 0,004	0,136 ± 0,005
	Resistência à tração, kN/m	2,60 ± 0,12	2,54 ± 0,09
	Índice de tração, N.m/g	31,7	33,5
	Resistência à tração zero-span, kN/m	9,2 (0,5)	8,2 (0,4)
	Resistência na direção z, N/m	255,56 (20,4)	250,0 (12)

Notas: 1) Os papéis referentes ao miolo do livro que deram origem as aparas possuíam: para o teor de cinzas uma média de 18,6%; para o índice de tração de 65,2 N.m.g⁻¹ na direção longitudinal e 31,9 N.m.g⁻¹ na direção transversal

2) Os números entre parênteses referem-se ao desvio padrão de determinações paralelas.

Analisando os dados da Tabela 1 constata-se que no tratamento de desagregação em água os resultados obtidos para os ensaios de resistência não apresentam variações significativas entre as Amostras A e B. Com relação aos valores de teor de cinzas, ambas as amostras perderam ao redor de 40% da carga mineral presente nos papéis que as originaram. Esta carga que representava em torno de 18% passa a ser em torno de 11%.

Para as duas amostras foi observada a presença de pintas em grande quantidade nas folhas formadas, sendo que nas da Amostra B há vestígios de fragmentos de capa de livro não desagregado (Figura 2).

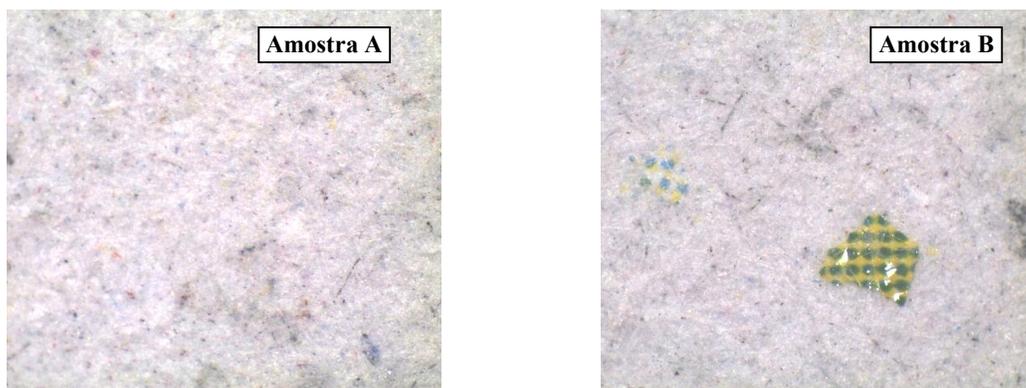


Figura 2: Imagens de folhas formadas com as Amostras A e B, com aumento de 25x.

3.2 Polpação e destintamento

Na Tabela 2 encontram-se os rendimentos obtidos na polpação e no processo de destintamento (flotação) efetuado com as pastas procedente da polpação. Na polpação a maior perda ocorre no processo de transferência da suspensão de fibras do digestor para a peneira. Na flotação, o rendimento é menor do que o ocorrido na polpação, fato esperado porque a espuma que arrasta as substâncias coloridas também arrasta certa quantidade de fibras.

Tabela 2 - Rendimento dos processos de cozimento e destintamento

	Amostra A		Amostra B	
	Polpação	Flotação	Polpação	Flotação
Rendimento, em %	87	77	92	78
Rendimento global, %	67		72	

Nota: Os rendimentos foram calculados considerando base seca.

Na Tabela 3 são mostrados os resultados dos ensaios efetuados com as pastas procedentes da polpação e da flotação e os resultados dos ensaios efetuados nas folhas formadas com essas pastas.

Observando os dados da Tabela 3, verifica-se que não há diferença significativa nas propriedades de resistência, tanto entre os processos de polpação e flotação como entre as Amostras A e Amostra B. Por outro lado, a aparência das folhas formadas apresentam diferenças que podem ser observadas visualmente e confirmadas por seus valores de alvura. O destintamento, pelo processo de flotação, promove, como esperado, um ganho significativo da alvura, sendo os valores obtidos neste estudo (85,59% e 82,92%) da mesma ordem do valor médio (86,05%) obtido na medição da alvura, com UV excluído, dos papéis do miolo dos livros didáticos utilizados nessa pesquisa.

Tabela 3 - Resultados de ensaios efetuados nas pastas e nas folhas formadas

Ensaio	Propriedade	Amostra A		Amostra B	
		Polpação	Flotação	Polpação	Flotação
Na pasta	Resistência à drenagem, em °SR	26,5	22,5	24,5	23,5
Nas folhas	Gramatura, em g/m ²	65,55	66,14	65,80	66,09
	Espessura, em mm	0,123±0,004	0,123±0,004	0,127±0,004	0,123±0,004
	Alvura, em %	74,67±0,20	85,59±0,21	74,14±0,85	82,91±0,31
	Resistência à tração, kN/m	2,16±0,26	2,58±0,19	2,16±0,22	2,46±0,47
	Índice de tração, N.m/g	33,0	39,0	32,8	37,2
	Resistência à tração zero span, em kN/m	7,55±0,41	7,99±0,26	7,28±0,30	8,12±0,07

Na Tabela 4 são apresentados os resultados obtidos na análise dos efluentes procedentes da polpação e da flotação. Os sólidos totais na fração líquida da flotação são menores do que os da fração escumada, porque nesta última se encontram os materiais coloridos, assim como finos de fibras celulósicas. Quanto aos sólidos suspensos, os valores obtidos estão coerentes com os processos e com os outros parâmetros analisados. A cor do efluente da Amostra B é significativamente maior do que o da Amostra A, porque as aparas da primeira contêm capas de livro, que são possuem maior cobertura de tinta. Na flotação a cor se concentra mais na fração escumada, o que é esperado, pois a função da espuma é retirar a tinta. De um modo geral a carga poluente procedente da Amostra B é maior do que a da Amostra A.

Tabela 5 - Resultados obtidos para os efluentes

Ensaio	Amostra A			Amostra B		
	Polpação	Flotação		Polpação	Flotação	
		Fração líquida	Fração escumada		Fração líquida	Fração escumada
Sólidos totais, mg/L	3727	554	2774	3344	357	8149
Sólidos suspensos, mg/L	670	429	2476	79	310	6789
Cor, unidades de cor	340	0,67	151	1080	4,67	159

Nota: Na fração as análises foram efetuadas após esta tornar-se líquida. Para agilizar este processo foram aplicadas gotas de álcool etílico.

4. CONCLUSÕES

Os livros didáticos apresentam características semelhantes, o que gera aparas homogêneas, facilitando deste modo os processos de reciclagem.

No estudo efetuado, a reciclagem empregando apenas a desagregação com água leva a papéis com alto teor de sujidade (pintas e pedaços de papel não desagregado). Este fato limita a aplicação da pasta celulósica obtida, que deve ser direcionada a produtos que não exigem requisitos de aparência, como miolo de cartões multicamada e miolo corrugado de chapas de papelão ondulado.

No processo de desagregação com água, a separação do miolo de livros de sua capa não representa ganhos significativos em relação às propriedades de resistência analisadas, mas melhora a aparência das folhas formadas.

A reciclagem empregando as condições de polpação e destintamento por flotação usadas no estudo leva a papéis com pouca ou quase nenhuma sujidade (pintas). Para as aparas formadas apenas pelo miolo dos livros didáticos, obteve-se folhas com alvura equivalente a média encontrada nos papéis desses livros, que são manufaturados com fibras virgens branqueadas. Para as aparas formadas por miolo e capa, misturados nas proporções encontradas no livro, a alvura ficou por volta de 4% mais baixa.

A reciclagem empregando as operações de polpação e destintamento por flotação, nas condições usadas neste estudo, não tem influência significativa sobre as propriedades de resistência do papel. O processo de flotação exerce uma pequena melhora nestas propriedades devido à eliminação de parte dos finos presentes na pasta celulósica.

Na polpação e destintamento por flotação, nas condições aplicadas, as aparas que contêm capas geram efluentes com maior carga poluente do que as aparas que contêm somente o miolo do livro. Isto ocorre porque as capas são revestidas, contem alta carga de pigmentos coloridos e também laminação ou verniz.

Embora haja anualmente um descarte significativo de livros didáticos, ele é pulverizado e se concentra praticamente em uma determinada época do ano. Desta forma, há necessidade de uma logística para viabilizar seu uso como nicho de aparas, possibilitando a aplicação de condições de processo especialmente desenvolvidas para este nicho.

AGRADECIMENTOS

À Escola SENAI de Artes Theobaldo de Nigris, pela picagem das aparas utilizadas neste estudo.

REFERÊNCIAS

ACKERMANN, C.; GÖTTSCHING, I.; PAKARINEN, H. Papermaking Potential of recycled fiber. In: GULLICHSEN, J.; PAULAPURO, H. (Eds.). Papermaking Science and Technology. Finish Paper Engineer's Association e TAPPI PRESS, 2000, Livro 7 (Recycled Fiber and Deinking), p. 359-438.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13999: Papel, cartão, pastas celulósicas e madeira - Determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525°C. Rio de Janeiro, 2003. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14031: Pasta celulósica - Determinação da resistência à drenagem pelo aparelho Schopper-Riegler. Rio de Janeiro, 2004. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14869:2012 Tecnologia gráfica — Livros - Parte 1 – Classificação e Parte 2: Livros didáticos

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 5263-1: Pastas celulósicas - Desagregação a úmido em laboratório - Parte 1: Desagregação de pastas celulósicas químicas. Rio de Janeiro, 2005. 7 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 5269-1: Pastas celulósicas - Preparação de folhas em laboratório para ensaios físicos - Parte 1: Método do formador de folhas convencional. Rio de Janeiro, 2006. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM-ISO 536: Papel e cartão - Determinação da gramatura. Rio de Janeiro, 2000. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM-ISO 1924-2: Papel e cartão - Determinação das propriedades de tração - Parte 2: Método da velocidade constante de alongamento. Rio de Janeiro, 2001. 14 p.

BRACELPA (Associação Brasileira de Celulose e Papel) Relatório Estatístico. Disponível em <<http://www.bracelpa.org.br/bra2/?q=node/461>>. Acesso em 30/11/2011

D'ALMEIDA, M. L. O.; NEVES, J. M. Processamento do Lixo – Reciclagem do Papel in Lixo Municipal: Manual de gerenciamento integrado. Editores D'Almeida, M.L.O. e Vilhena, A. Publicação IPT 2622, copirraite IPT – Cempre.

FNDE. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. Disponível em <<http://www.fnde.gov.br/index.php/pnld-pnld-e-pnlem>> Acessado em 30/11/2011.

HOLIK, H. Unit operations and equipment in recycled fiber processing. In: GULLICHSEN, J.; PAULAPURO, H. (Eds.). Papermaking Science and Technology. Finish Paper Engineer's Association e TAPPI PRESS, 2000, Livro 7 (Recycled Fiber and Deinking), p. 91-209.

TAPPI T 569 om (2007) TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY. TAPPI T 231 cm: Zero-span breaking strength of pulp (dry zero-span tensile). Atlanta, 2007. 8 p..