

MISTURA DE FIBRAS VIRGENS BRASILEIRAS COM FIBRAS RECICLADAS EUROPEIAS PARA CAPAS DE PAPELÃO ONDULADO

Renato Rodrigues Fioritti¹, Esteban Revilla², Nuria Gómez Hernández², Maria Luiza Otero D'Almeida¹

¹ Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT. Brasil

² Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria - INIA. Espanha

RESUMO

Este trabalho visou um estudo do comportamento de propriedades de resistência de papel reciclado destinado à confecção de capas de papelão ondulado (liners) ao se adicionar fibras virgens em diferentes porcentagens. A utilização de pasta celulósica reciclada para este fim já é uma prática muito comum em países europeus, e a qualidade das fibras cai a cada vez que a pasta celulósica é reciclada. Por esse motivo, foi proposto neste trabalho reforçar uma pasta celulósica reciclada de origem europeia com pastas celulósicas virgens de fibra longa e de fibra curta, ambas de origem brasileira. Para isso, folhas foram formadas em laboratório com essa pasta celulósica reciclada e com a adição de fibras virgens em diferentes proporções. Foi observado aumento das resistências à tração, ao arrebentamento e à compressão (short-span) ao se adicionar fibras virgens em proporções de até 40 %. Este aumento foi maior em folhas nas quais se adicionou fibra virgem longa. Além disso, para todas as propriedades de resistência estudadas a porcentagem de fibra virgem longa adicionada é uma função mais linear do que a para fibra virgem curta.

Palavras-chave: papel, papelão ondulado, reciclagem, embalagem, papel para liner.

ABSTRACT

This paper aimed the study of strength properties profile of a recycled pulp for the manufacture of linerboards when virgin fibres are added in different percentages. The application of recycled pulp for this purpose is quite usual in Europe countries. For this reason, reinforcing a European recycled pulp with Brazilian virgin hardwood and softwood pulps was proposed. Thus, laboratory sheets made of this recycled pulp and different percentages of virgin fibres were prepared. It was noticed an increase in tensile, burst and compressive (short-span) strengths when virgin fibres up to 40 % were added. This increase was greater when softwood fibres were added. Furthermore, the percentage of virgin softwood fibres added revealed more linearity of curves than the percentage of virgin hardwood fibres when the strength properties evaluated in this paper are in function of them.

Keywords: paper, cardboard, recycling, packaging, paper for linerboard.

1. INTRODUÇÃO

A reciclagem de papel é uma atividade economicamente viável e atualmente em contínuo desenvolvimento devido a pressões ambientais, que estimulam o aumento das taxas de recuperação de fibras de produtos usados de papel e acarretam melhoria da qualidade das fibras recicladas [1]. No Brasil, em 2013, a taxa de utilização (consumo de papel para reciclar como matéria-prima, expresso em porcentagem do total de produção de papel e papelão) ficou em 43 % [2], aquém da média do conjunto de 18 países europeus integrantes do CEPI (Confederation of European Paper Industries), onde essa taxa chegou em 2013 a 52,1 % [3]. Esta relação provavelmente persiste nos dias de hoje.

As taxas de reciclagem na Europa se tornaram tão altas que o setor esbarrou em questões não enfrentadas anteriormente, entre elas a deterioração das fibras após sucessivas reciclagens [4]. A perda de propriedades em fibras recicladas varia em função do processo de reciclagem e da qualidade da matéria-prima utilizada, sendo que, no caso das propriedades mecânicas, em um único reciclo, essa perda pode variar entre 30 % e 35 % [5].

A melhora das propriedades mecânicas de uma pasta celulósica reciclada é um desafio para a indústria de papelão ondulado devido à heterogeneidade do material a ser reciclado. Esse material é composto por papéis para embalagem em geral: papel para sacos, cartão, papelão ondulado e outros. Ele pode conter diferentes tipos de fibras (longa, curta e não madeira) que procedem de processos distintos (químico, mecânico, semiquímico e outros). Além disso, ele pode conter fibras virgens e recicladas em diferentes proporções [6]. Seria importante para a indústria ter uma ferramenta que pudesse prever a qualidade de seu produto em função da matéria-prima e, com base nessa predição, efetuar melhorias. O ideal é que essas ferramentas fossem em função de variáveis conhecidas. Por exemplo, Adamopoulos e outros [7] estudaram a variação de propriedades de resistência em função da gramatura enfocando a qualidade de embalagens.

Este trabalho teve como objetivo estudar o comportamento das propriedades de resistência de um papel destinado à confecção de capas de papelão ondulado (*liners*) ao se adicionar fibras virgens longas e curtas de origem brasileira a uma pasta reciclada de origem europeia, por meio do estabelecimento de relações entre essas propriedades e porcentagem de fibra longa ou curta adicionada à pasta reciclada.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Pastas celulósicas

Foram utilizadas três amostras de pasta celulósica: a primeira, de fibra longa virgem não branqueada obtida por processo químico sulfato, de origem brasileira; a segunda, de fibra curta virgem não branqueada obtida por processo químico sulfato, de origem brasileira; e a terceira, de fibra reciclada. Esta última foi obtida em laboratório a partir de uma mistura de 1/3 de sacos de papel e 2/3 de caixas de papelão ondulado de parede dupla, de origem europeia. A preparação da pasta reciclada consistiu das seguintes etapas: desagregação, em um repolpador (*pulper*) de laboratório com 60 litros de capacidade, em água a uma temperatura entre 45 °C e 50 °C e a 1 % de consistência; depuração em um depurador de peneira plana com ranhuras de 0,25 mm de largura; centrifugação; e secagem.

2.2 Ensaios de caracterização das pastas

Ensaios foram realizados a fim de caracterizar as pastas celulósicas empregadas neste trabalho, como descritos na **Tabela 1**.

Tabela 1. Ensaios de caracterização das pastas celulósicas

Ensaio	Método	Pasta reciclada	Pastas virgens
Fotomicrografias	Microscopia óptica	X	X
Resistência à drenagem	ISO 5267-1	X	X
Classificação de fibras	(<i>Schopper-Riegler</i>)		
	UNE 57118 ^(a) (<i>Baüer-McNett</i>)	X	
Comprimento médio de fibras	Analisador de fibras	X	X
	MFA-5000		
Número Kappa	ISO 302		X

(a) – Norma espanhola

2.3 Curvas de refinação

Para as pastas virgens foram construídas curvas de refinação. Cada pasta foi refinada em refinador PFI segundo ISO 5264-2 e folhas de 70 g/m² em base seca foram formadas em formador de folhas *Rapid-Köthen*, segundo ISO 5269-2. O grau de refinação foi medido pelo aparelho *Schopper-Riegler*, segundo ISO 5267-1. As folhas formadas foram submetidas aos ensaios para avaliação de suas propriedades físicas, que estão descritos na **Tabela 2**.

Tabela 2. Propriedades físicas analisadas nas folhas formadas

Ensaio	Norma
Gramatura	ISO 536
Espessura	ISO 534
Permeância / resistência ao ar – método Gurley	ISO 5636-5
Resistência à tração e alongamento	ISO 1924-2
Resistência ao rasgo	ISO 1974
Resistência ao arrebentamento	ISO 2758
Resistência à compressão – ensaio <i>short-span</i> (SCT)	TAPPI/ANSI T 826

2.4 Mistura de pastas celulósicas e formação de folhas em laboratório

As pastas celulósicas foram desagregadas de acordo com ISO 5263-1. A pasta celulósica virgem de fibra longa foi previamente refinada em refinador PFI, de acordo com ISO 5264-2 e esta foi adicionada à pasta celulósica reciclada nas seguintes proporções: 5 %, 10 %, 20 %, 30 % e 40 %. O mesmo foi feito para a pasta celulósica virgem de fibra curta. Folhas de 160 g/m² em base seca foram formadas em formador de folhas *Rapid-Köthen*, segundo ISO 5269-2, para cada uma das proporções definidas. As folhas formadas foram submetidas aos ensaios descritos na **Tabela 3**. No caso da pasta reciclada sem adição de pastas virgens, as propriedades físicas analisadas foram as mesmas apresentadas na **Tabela 2**.

Tabela 3. Propriedades físicas analisadas nas folhas formadas (misturas)

Ensaio	Norma
Gramatura	ISO 536
Espessura	ISO 534
Resistência à tração e alongamento	ISO 1924-2
Resistência ao arrebentamento	ISO 2758
Resistência à compressão – ensaio <i>short-span</i> (SCT)	TAPPI/ANSI T 826

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização microscópica

Na **Figura 1** estão apresentadas as fotomicrografias das pastas celulósicas. Pode-se caracterizar as pastas virgens de fibra curta e de fibra longa como 100 % pasta química de eucalipto e de *Pinus sp.*, respectivamente. Quanto à pasta reciclada, esta é composta em sua maioria por pasta química, da qual em torno de 85 % são fibras de coníferas, mais especificamente de *Pinus sylvestris*, *Pinus pinaster*, abeto e abeto de Douglas, e o restante são fibras de folhosas como choupo, eucalipto e bétula. Na pasta reciclada há também fibras de coníferas e folhosas obtidas por processo semiquímico, cujas espécies não puderam ser identificadas.

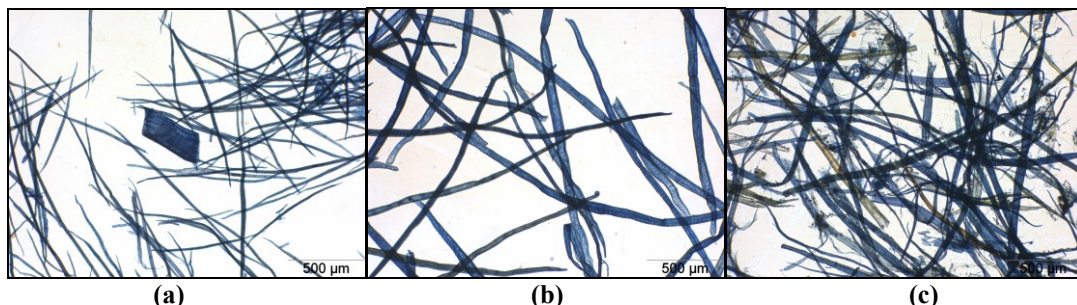


Figura 1: Fibras da pasta celulósica virgem de fibra curta (a), da pasta celulósica virgem de fibra longa (b) e da pasta celulósica reciclada (c).

A análise microscópica permitiu observar que as fibras virgens de eucalipto e *Pinus sp.* encontram-se em bom estado e que não há danos estruturais aparentes nem fibrilação. No

caso da pasta reciclada, esta é constituída por uma mistura de fibras de diversas espécies comuns no continente europeu. Em sua maioria é formada por pasta química, mas tem uma pequena fração de pasta semiquímica, ambas habitualmente encontradas no material utilizado no estudo (sacos e papelão ondulado). As fibras procedentes de processo químico provavelmente provêm dos sacos e das capas do papelão ondulado e as semiquímicas, do miolo do papelão ondulado.

3.2 Classificação e tamanho das fibras

Os dados obtidos da classificação de fibras pelo aparelho *Baüer-McNett* para a fibra reciclada estão apresentados na **Tabela 4**. Dados obtidos pelo analisador de fibras MFA-5000 das três pastas celulósicas estão mostrados na **Tabela 5**.

Tabela 4. Classificação de fibras da pasta reciclada

Fração	Porcentagem em massa
F > 30	59,6
F ₃₀₋₅₀	15,6
F ₅₀₋₁₀₀	8,2
F ₁₀₀₋₂₀₀	4,6
F < 200	12,1

Tabela 5. Resultados apresentados pelo analisador de fibras

Propriedade	Pasta reciclada	Pasta virgem de fibra longa	Pasta virgem de fibra curta
Comprimento médio ponderado (μm)	1188	2291	936
Coarseness (mg/m)	0,164	0,250	0,065
Largura média (μm)	22,9	34,8	17,7
Número de fibras por grama ($\times 10^6$)	10,8	3,46	22,5
Número de finos por grama ($\times 10^3$)	59	16	10

Observando os dados da **Tabela 4** nota-se que basicamente 40 % das fibras da pasta reciclada passaram pela peneira com diâmetro de 0,595 mm, logo há quantidades significativas de fibras curtas e finos.

Observando os dados da **Tabela 5** nota-se para todos os ensaios exceto o de finos que os valores obtidos para a pasta reciclada ficam entre os encontrados para as pastas virgens de fibras curta e longa. Quanto ao teor de finos, o da pasta reciclada é bem maior do que os das pastas de fibra virgem. Em relação ao *coarseness*, a pasta virgem de fibra longa possui os maiores valores. Essa propriedade reflete em outras duas: largura média e número de fibras por grama, nos quais essa pasta possui as maiores larguras de fibras, ou seja, elas são mais espessas que as demais, e possui a menor quantidade de fibras por grama. Pastas celulósicas com maior *coarseness* acarretam em folhas com maior volume específico, maior resistência ao rasgo e maior absorção de água [8].

3.3 Caracterização físico-química

Resistência à drenagem das três pastas analisadas e número Kappa das pastas virgens estão apresentadas na **Tabela 6**. A resistência à drenagem da pasta virgem de fibra longa é menor que das demais pastas, o que pode ser explicado pela sua baixa população de fibras (número de fibras por grama de pasta). As outras pastas possuem resistências à drenagem semelhantes. Apesar de a pasta reciclada possuir aproximadamente metade da população de fibras da pasta de fibra curta, seu número de finos é bem maior, o que acaba contribuindo para aumentar sua resistência à drenagem. O resultado obtido para o número Kappa indica que a pasta de fibra longa possui quantidade de lignina superior à da pasta de fibra curta.

Tabela 6. Resultados de caracterização físico-química das pastas celulósicas

Propriedade	Pasta reciclada	Pasta virgem de fibra longa	Pasta virgem de fibra curta
Número Kappa	-	57	16
Resistência à drenagem, <i>Schopper-Riegler</i> (SR)	16,6	10,3	16,9

3.4 Curvas de refinação

Os dados referentes às curvas de refinação das pastas celulósicas de fibra longa e de fibra curta estão apresentados na **Tabela 7** e na **Tabela 8**, respectivamente.

Tabela 7. Dados de curvas de refinação referentes à pasta celulósica de fibra longa

Propriedade	Pontos			
	0	1	2	3
Número de revoluções no PFI (x1000)	8	10	12	15
Resistência à drenagem, <i>Schopper-Riegler</i> (SR)	20,4	36,4	44,5	69,7
Densidade aparente (g/cm ³)	0,635	0,644	0,676	0,722
Resistência ao ar (s/(100 mL))	14	76	187	1098
Índice de rasgo (mN·m ² /g)	12,7	10,9	10,8	9,6
Índice de compressão <i>short-span</i> (N·m/g)	31,0	32,3	32,5	34,0
Índice de arrebentamento (kPa·m ² /g)	6,14	6,11	6,51	6,80
Índice de tração (N·m/g)	70,0	79,8	79,3	85,8
Alongamento (%)	2,75	3,09	2,97	2,94

Tabela 8. Dados de curvas de refinação referentes à pasta celulósica de fibra curta

Propriedade	Pontos			
	0	1	2	3
Número de revoluções no PFI (x1000)	0	2	4	6
Resistência à drenagem, <i>Schopper-Riegler</i> (SR)	16,9	28,4	38,6	59,7
Densidade aparente (g/cm ³)	0,458	0,630	0,671	0,717
Resistência ao ar (s/(100 mL))	1	11	36	173
Índice de rasgo (mN·m ² /g)	2,5	10,3	12,9	10,8
Índice de compressão <i>short-span</i> (N·m/g)	16,6	35,2	35,7	36,8
Índice de arrebentamento (kPa·m ² /g)	0,86	3,40	4,27	5,30
Índice de tração (N·m/g)	21,6	60,6	67,8	84,2
Alongamento (%)	0,74	1,77	2,13	2,51

Analisando a **Tabela 7**, observa-se que a refinação da pasta celulósica de fibra longa requereu muita energia para se notar aumento na resistência à drenagem (8 mil voltas no PFI somente para elevar seu grau de refinação a 20 SR). Além disso, notam-se melhoras insignificantes de propriedades de resistência mecânica das folhas formadas (tração, rasgo, arrebentamento e compressão) com o aumento do grau de refinação, embora a pasta esteja efetivamente refinada ao se observar a própria resistência à drenagem e a resistência ao ar das folhas formadas, que sobem vertiginosamente com o grau de refinação.

Considerando os dados de refinação obtidos para a pasta de fibra curta (**Tabela 8**), verifica-se um aumento significativo nas propriedades de resistência mecânica das folhas formadas até 30 SR. A partir desse grau de refinação, essas propriedades pouco mudam, apesar de estar evidenciada a refinação pela resistência ao ar das folhas formadas e pela resistência à drenagem da pasta.

Deste modo, escolheu-se trabalhar com graus de refinação baixos para ambas as pastas, o que não aumentariam os custos de produção do papel na indústria. Escolheu-se aplicar 8 mil voltas no PFI para a pasta de fibra longa e 2 mil voltas no PFI para a pasta de fibra curta, que resultariam em graus de refinação em torno de 20 SR e 30 SR, respectivamente.

3.5 Propriedades das folhas formadas de pasta reciclada

Os resultados referentes às propriedades das folhas formadas a partir da pasta celulósica reciclada estão apresentados na **Tabela 9**. Os valores de propriedades de resistência obtidos (tração, rasgo, arrematamento, compressão e resistência à drenagem) são equivalentes a uma pasta com baixo grau de refinação, se comparados com os dados das **Tabelas 7 e 8**.

Tabela 9. Propriedades físicas das folhas formadas da pasta reciclada

Propriedade	Valor
Densidade aparente (cm ³ /g)	0,506
Resistência ao ar (s/(100 mL))	3,44
Índice de rasgo (mN·m ² /g)	10,3
Índice de compressão <i>short-span</i> (N·m/g)	16,4
Índice de arrematamento (kPa·m ² /g)	1,57
Índice de tração (N·m/g)	26,8
Alongamento (%)	1,80

3.6 Propriedades das folhas formadas de pasta reciclada

As pastas virgens de fibra curta e de fibra longa refinadas, utilizadas nas misturas, apresentavam grau de refinação de 27,2 SR e 19,3 SR, respectivamente. As propriedades das misturas e das folhas formadas considerando as porcentagens de fibras virgens adicionadas estão ilustradas na **Figura 2**.

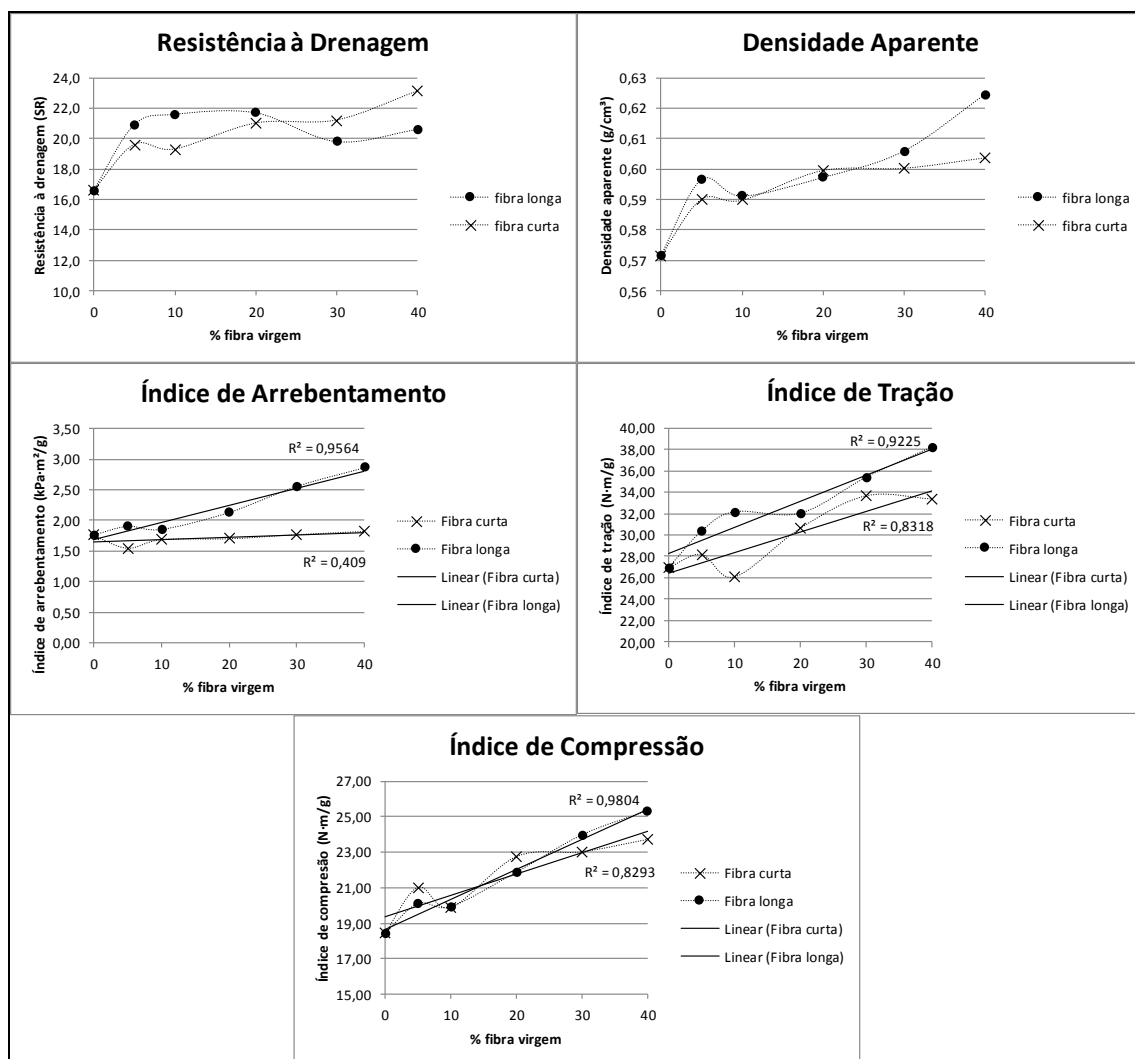


Figura 2: Relação entre propriedades das misturas e teor de fibra virgem.

Analisando os gráficos da **Figura 2**, constata-se que o grau de refinação aumenta ligeiramente com a quantidade de fibra virgem adicionada, tanto para a pasta de fibra curta como para a de fibra longa, sendo o aumento maior no caso da primeira, que já possuía um grau de refinação relativamente alto. Como folhas de pasta refinada tendem a ser mais compactas, a densidade aparente também segue o comportamento observado para o grau de refinação, ou seja, aumenta ligeiramente. No que se refere ao índice de arrebentamento, ocorreu um aumento da ordem de 63 % ao se adicionar 40 % de fibra longa, com uma forte tendência linear entre essas duas variáveis, mas quando se adiciona fibra curta não há aumento significativo, tampouco tendência linear. Quanto aos índices de tração, estes subiram 41 % e 24 % ao se adicionar 40 % de fibras virgens de fibra longa e fibra curta, respectivamente, com as duas curvas do gráfico seguindo uma tendência linear, sendo essa maior para a fibra longa. No caso dos índices de compressão, houve incrementos de 37 % e de 28 % ao se adicionar 40 % de fibra longa e fibra curta, respectivamente, com as duas curvas do gráfico também seguindo uma tendência linear, cujo R^2 é maior para a curva referente à fibra longa.

4. CONCLUSÕES

Dentre as pastas virgens de origem brasileira analisadas, a pasta celulósica virgem de fibra longa é a mais apropriada para reforçar pasta celulósica reciclada de origem europeia, para o propósito inicial de utilização em capas de papelão ondulado. Entretanto, as fibras curtas podem atribuir propriedades de interesse em casos específicos como, por exemplo, nos quais é desejada uma densidade aparente menor. Com pequenas porcentagens de fibras virgens adicionadas, principalmente as longas, observa-se melhoria de propriedades de resistência, assim como uma maior linearidade entre as variáveis estudadas.

AGRADECIMENTOS

- À *Adriane do SENAI de Telêmaco Borba, Paraná, Brasil, por disponibilizar as pastas celulósicas virgens utilizadas neste trabalho;*
- À *equipe do Laboratório de Celulose e Papel do Centro de Pesquisas Florestais (CIFOR) do INIA (Madri, Espanha), pelo apoio e pela parceria no desenvolvimento deste trabalho;*
- *Ao IPT e à FIPT pelo apoio ao pesquisador Renato antes, durante e após sua estada em Madri, em seu Programa de Desenvolvimento e Capacitação no Exterior (PDCE).*

REFERÊNCIAS

1. Ackermann, C., Götsching, I., Pakarinen, H. "Papermaking Potential of recycled fiber" in *Papermaking Science and Technology*, Gullichsen, J., Paulapuro, H. (eds.), *Finish Paper Engineer's Association and TAPPI PRESS*, vol.7 (*Recycled Fiber and Deinking*), pp.359-438. (2000)
2. ASPAPEL (Asociación Española de Fabricantes de Pasta, Papel y Cartón). "Informe Estadístico 2014". Madrid, Spain. (2015)
3. CEPI Confederation of European Paper Industries. "CEPI Key Statistics 2013". Brussels, Belgium. (2014)
4. Grossmann, H. "The Limits of Paper Recycling – an European Approach to Identify and Extend the Limits of Paper Recycling", Dresden, Germany. (2006)
5. Pèlach, M.A., Delgado-Aguilar, M., Alcalá, M., Puig, J., Blanco, A., Mutjé, P. "New strategy for the production of packaging from recycled fibers", *Cellulose Chemistry and Technology*, vol.50, num.3-4, pp.449-454. (2016)
6. Adamopoulos, S., Oliver, J.V. "Qualitative and quantitative fiber analysis in recycled raw materials for packaging", *Forest Products Journal*, vol.56, num.2, pp.58-60 (2006)
7. Adamopoulos, S., Passialis, C., Voulgaridis, E., Villanueva, J.V.O. "Grammage and structural density as quality indexes of packaging grade paper manufactured from recycled pulp", *Drewno*, vol.57, num.191, pp.145-151. (2014)
8. Foelkel, C. "The eucalyptus fibers and the kraft pulp quality requirements for paper manufacturing" in *Eucalyptus Online Book & Newsletter*. Brazil. (2007)