

LINTER RECICLADO DE ALGODÃO: ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA A PRODUÇÃO DE CELULOSE E PAPEL¹

LINTER RECYCLED COTTON: SUSTAINABLE ALTERNATIVE FOR THE PULP AND PAPER PRODUCTION¹

Fabricio Junki Blanco KUMABE^{2,4}; Cláudio Angeli SANSÍGOLO²; Isabel HOMCZINSKI³

RESUMO - Esta pesquisa objetivou determinar as propriedades físicas, químicas e anatômicas do linter residual de algodão, material oriundo da indústria têxtil, para fabricação de celulose e papel. Foram avaliados três tratamentos (linter reciclado blue 40, linter reciclado blue 30 e linter reciclado alvejado 30), em que se analisou as seguintes propriedades: teor de umidade, densidade aparente, teor de holocelulose, extrativos totais, lignina, número kappa e solubilidade em NaOH 1 e 5% em água quente e água fria, teor de cinzas, determinação das dimensões das fibras e as relações entre essas dimensões, seguindo as normas da TAPPI. Na avaliação física da umidade, não houve diferença estatística significativa entre as médias dos tratamentos. Para densidade e teor de holocelulose, o Blue 40 apresentou a maior média (0,088 g.cm⁻³ e 90,82%, respectivamente). O teor de lignina do Blue 40 apresentou a menor média (1,95%). A porcentagem de cinzas foi igual para os tratamentos Blue 40 e Alvejado 30 (0,80%). Na avaliação da solubilidade em NaOH 1% e solubilidade em água quente, os tratamentos Blue 30 e Alvejado 30 apresentaram médias iguais (8% e 5%, respectivamente) e superiores a Blue 40. Para a solubilidade em NaOH 5%, os tratamentos Blue 30 e Blue 40 apresentaram médias iguais (6%). Os valores de solubilidade em água fria foram iguais para o Blue 40 e Alvejado 30 (5,04%) e superiores ao Blue 30. Desta forma, a Blue 40 apresentou melhores características para produção de celulose e papel.

Palavras-chave: Linter residual; Indústria têxtil; Lignina; Reciclável.

ABSTRACT - This research aimed to determine the physical, chemical and anatomical properties of the residual cotton linter, a material from the textile industry, for the manufacture of cellulose and paper. Three treatments were evaluated (blue recycled linter 40, blue recycled linter 30 and bleached recycled linter 30), in which the following properties were analyzed: moisture content, bulk density, holocellulose content, total extractives, lignin, kappa number and solubility in NaOH 1 and 5% in hot and cold water, ash content, determination of fiber dimensions and the relationships between these dimensions, following TAPPI standards. In the physical evaluation of moisture, there was no statistically significant difference between the treatment means. For density and holocellulose content, Blue 40 had the highest average (0.088 g. cm⁻³ and 90.82%, respectively). The lignin content of Blue 40 had the lowest average (1.95%). The percentage of ash was the same for the treatments Blue 40 and Bleach 30 (0.80%). In the evaluation of solubility in NaOH 1% and solubility in hot water, the treatments Blue 30 and Bleach 30 had equal means (8% and 5%, respectively) and higher than Blue 40. For the solubility in NaOH 5%, the treatments Blue 30 and Blue 40 had equal means (6%). The cold-water solubility values were equal for Blue 40 and Bleach 30 (5.04%) and higher than Blue 30. Thus, Blue 40 presented better characteristics to produce pulp and paper.

Key words: Residual linter; Textile industry; Lignin; Recyclable.

¹ Recebido para análise em 25.09.2020. Aceito para publicação em 13.09.2021.

² Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu, Avenida Universitária, 3780, 18610-034, Botucatu, SP, Brasil.

³ Universidade Estadual do Centro Oeste, Campus de Irati, PR 153, km 7, 84500-000, Irati, PR, Brasil.

⁴ Autor para correspondência: Fabricio Junki Blanco Kumabe - kumabe.fjb@icloud.com

1 INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa posição de destaque global no setor de celulose, e mantém-se desde 2012 entre os quatro maiores produtores mundiais, sendo o segundo maior exportador. A razão do alto crescimento da produção de celulose nacional é resultado da elevada competitividade, que por sua vez, é oriunda da floresta: condições edafoclimáticas favoráveis combinadas a um longo histórico de investimento em pesquisa e desenvolvimento, que como resultado elevaram a produtividade de *Pinus* e, principalmente, de *Eucalyptus* ao maior patamar mundial (Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel - Bracelpa, 2015).

O sucesso do Brasil no mercado global de celulose está limitado ao *Eucalyptus*, pois toda a exportação brasileira de fibra curta é originária desse gênero florestal, enquanto a produção nacional de fibra longa, direcionada ao mercado interno, mostra um crescimento bastante limitado (Valverde et al., 2006; Vidal e Hora, 2014). Atualmente, a produção nacional dessa fibra é insuficiente para atender à demanda interna (Vidal e Hora, 2014). E é neste contexto que se insere a busca por fontes alternativas de fibras, como por exemplo, a utilização de produtos não madeireiros.

Apesar de a madeira ser hoje a principal fonte de matéria prima para produção de celulose e papel, outras fontes de fibras vegetais vêm sendo utilizada como uma nova alternativa para a produção. A produção de polpa celulósica proveniente de fibras de plantas não arbóreas representa entre 5-7% do total de polpa produzida no mundo, e o principal interesse deste tipo de celulose é que proporciona excelentes fibras para fabricação de papéis (Rodrigues, 2017). E é nesse contexto que se insere a busca por alternativas sustentáveis e economicamente viáveis.

O aproveitamento de resíduos e de plantas não arbóreas provenientes do setor industrial são potencialmente favoráveis para a produção de polpa, pois consiste em revalorizar o que para o setor teoricamente já não tem mais valor. Com isso, vários estudos têm sido realizados testando a qualidade dessas fibras para a produção de celulose, como por exemplo: papéis artesanais com fibras virgens de bambu (*Dendrocalamus giganteus* Wall. ex Munro) e de bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) (Andrade et al., 2001), celulose com fibras vegetais de buriti (*Mauritia vinifera* Mart.) (Pereira et al., 2003), celulose com fibras da palmeira tucum (*Bactris inundata* Mart.) (Pereira et al., 2004), fibra de coco verde para produção de celulose e papel (Senhoras,

2004), celulose com o caule de mandioca (Azzini et al., 1996), e com o linter derivado do aproveitamento do algodão.

É importante ressaltar que desde os primórdios da colonização, monoculturas como o algodão são utilizadas com as mais diversas finalidades em todo o mundo. No Brasil, o algodão é cultivado em quase todos os estados, sendo produzido, principalmente, no Mato Grosso, Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Maranhão. O Brasil é o quinto maior produtor de algodão do mundo, atrás apenas da Índia, China, Paquistão e Estados Unidos, com uma produção de 26.930 mil toneladas na safra 2017/2018, sendo o segundo maior exportador e nono maior consumidor mundial (Severino et al., 2019).

Atualmente, praticamente toda a produção de algodão é destinado a indústria têxtil, entretanto, nos primórdios evolutivos a maior parte do algodão produzido era utilizado, por exemplo, para produção de celulose e papel, por apresentar características químicas favoráveis para esta tecnologia (Vidal, 2013). Desta forma, o aproveitamento do linter do algodão produzido pelas indústrias têxteis é uma alternativa na produção de celulose e papel. O linter consiste em uma matéria-prima na maioria das vezes descartada pela indústria, que facilmente pode ser aproveitada para as mais diversas vertentes.

Devido a demanda de fabricação de celulose e papel acredita-se que a busca por potencialidades seja necessária, para disposição no suprimento da demanda atual. Desta forma, o objetivo desta pesquisa foi determinar as propriedades físicas, química e anatômicas do linter residual de algodão (linter reciclado blue 40, blue 30 e alvejado 30), material oriundo da indústria têxtil para fabricação de celulose e papel.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O material consistiu de três tratamentos de linters (linter reciclado blue 40, linter reciclado blue 30 e linter reciclado alvejado 30) obtido como resíduo da indústria têxtil, os linter de número 30 apresentam maior grau de refino, quando comparados ao de numeração 40. As amostras foram fornecidas pela empresa Etex Industrial e Comercial Têxtil Ltda, localizada em São Paulo – SP. Esta empresa compra os retalhos das indústrias têxteis (principalmente de calças jeans), desfia e utiliza estes linters para diversas finalidades como a fabricação de palmilha de sapato, papel, fibrocimento e na indústria automobilística.

As amostras de linters foram moídas em moinho Wiley, e posteriormente classificada para obtenção da fração 40/60 mesh. Foram efetuadas as seguintes análises em cada amostra de linter: solubilidade em NaOH 1% (TAPPI T 4 wd-75), solubilidade em NaOH 5% (TAPPI T 4 wd-75), solubilidade em água quente e em água fria (TAPPI T 207 cm-99), teor de extrativos totais (TAPPI T 12 wd-82), teor de lignina Klason insolúvel em ácido sulfúrico (TAPPI T 249 cm-85), teor de holocelulose (deslignificação com clorito de sódio), teor de cinzas (TAPPI T 211 om-85) e teor de umidade (TAPPI T 258 om-11), determinado por meio da equação 1.

$$U_{bu} = \frac{PU - PS}{PU} \times 100 \quad \text{Eq. 1}$$

em que: U_{bu} = umidade base úmida, em porcentagem (%); PU = peso úmido do linter, em gramas (g); PS = peso seco em estufa do linter, em gramas (g).

A determinação da densidade aparente foi efetuada usando um recipiente cilíndrico de capacidade conhecida. As determinações foram realizadas em triplicata por meio da equação 2.

$$DAL = \frac{PS}{VA} \quad \text{Eq. 2}$$

em que: DAL = densidade aparente do linter, em gramas por centímetro cúbico (g.cm⁻³); PS = peso seco do linter em gramas (g); VA = volume aparente do linter, em centímetro cúbico (cm³).

A classificação das fibras foi realizada em classificador Bauer McNett, marca TMI, equipado com as peneiras padrão US 16 - 30 - 50 - 100 e 200 mesh, correspondente, respectivamente, às seguintes aberturas em mm: 1,190; 0,595; 0,297; 0,149; 0,074 mm (norma TAPPI T 233 cm-95). Em cada determinação foi utilizado o equivalente a 10 g s.e. de polpa durante 10 minutos. Foram efetuadas determinações em duplicata para quantificar as retenções da polpa nas cinco peneiras. Ao final, as fibras da polpa foram classificadas por comprimento nessas cinco frações.

Para análise anatômica em microscópio, foram confeccionadas folhas de gramatura referente a 1g de linter seco/m², posteriormente com o uso de papel contact foram retidas amostras de área referente a 10 cm², e em seguida levado ao microscópio para a caracterização.

A polpação mecânica dos linters foi efetuada em moinho centrífugo Jokro Mühle, 150 rpm, utilizando 16 g s.e. por panela, a uma consistência

de 6%, nos níveis 4500, 6750, 9000, 11250 e 13500 revoluções para verificar a possibilidade de formação de folhas de papel para realização dos ensaios físico-mecânicos. Para determinação da capacidade de refino de cada amostra foi feita a quantificação da drenagem das fibras por meio da determinação do grau Schopper-Riegler de acordo com metodologia ISO 5267-1: 1979.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), em três tratamentos (linter reciclado blue 40, linter reciclado blue 30 e linter reciclado alvejado 30), com seis repetições. Os dados obtidos a partir das avaliações foram submetidos ao teste de Bartlett ($p < 0,05$), para verificar a homogeneidade das variâncias dos tratamentos, e ao teste de Shapiro-Wilk ($p \leq 0,05$) para avaliar a normalidade dos dados. As variáveis cujas variâncias mostraram-se homogêneas e com distribuição dos dados normais, tiveram os efeitos dos tratamentos testados pelo F da ANOVA e as médias comparadas pelo teste de Tukey, considerando 5% de probabilidade de erro, calculados no software R versão 4.0.3 (R Core Team, 2019) com o pacote “*ExpDes.pt*” (Ferreira et al., 2019).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados encontrados para a composição química do linter do algodão estão apresentados na Tabela 1. Vale salientar que, alguns resultados justificam suas variações por se tratar de resíduos da indústria têxtil, que podem conter impurezas permanentes mesmos após os processos químicos de caracterização, desta forma os valores da composição química (teor de holocelulose, extrativos, lignina e cinza) não fecham 100 %.

Segundo Wehr (1991) o conhecimento da composição química da matéria prima destinada à produção de celulose é de grande valia, uma vez que os dados fornecerão condições para que se estabeleçam os parâmetros do processo de polpação, como o consumo de reagentes, rendimento em celulose e quantidade de sólidos gerados no licor negro.

O teor de holocelulose dos tratamentos apresentaram valores superiores aos encontrados por outros autores para outras espécies. Bonfatti Júnior (2010) relata teor de holocelulose de 66,28% para *Bambusa vulgaris*. Já Gomide et al. (1982) e Fernández (2010) relatam uma porcentagem de holocelulose de 64,94 e 66,63%, respectivamente, para a mesma espécie.

Tabela 1. Valores médios da composição química, solubilidade e número Kappa de linter reciclado de algodão obtido como resíduo da indústria têxtil (linter reciclado blue 40, linter reciclado blue 30 e linter reciclado alvejado 30), localizada em São Paulo – SP.

Table 1. Average values of chemical composition, solubility and Kappa number of recycled cotton linter obtained as waste from the textile industry (blue recycled linter 40, blue recycled linter 30 and bleached recycled linter 30), located in São Paulo – SP.

Variáveis avaliadas	Linter reciclado			Média	CV %
	Blue 30	Blue 40	Alvejado 30		
Teor de holocelulose (%)	86,38b	90,82a	78,91c	85,37	0,31
Teor de extrativos (%)	6,40a	5,02ab	3,05b	4,82	14,36
Teor de lignina (%)	8,57b	1,95c	11,8a	7,46	0,55
Cinzas (%)	1,45a	0,89b	0,82b	1,05	11,08
Solubilidade NaOH 1% (%)	8,68a	5,30 b	8,02a	7,33	3,70
Solubilidade NaOH 5% (%)	6,91a	6,31 a	4,06b	5,76	5,61
Solubilidade em água fria (%)	5,04a	2,20 b	5,04a	4,09	3,60
Solubilidade em água quente (%)	4,97a	1,84 b	4,70a	3,84	6,42
Número Kappa	19,3	19,5	2,3	13,70	----

Médias seguidas de mesma letra e linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey no nível de 5%; CV: coeficiente de variação (%).

Means followed by the same letter and line do not differ significantly by the Tukey test at the 5% level; CV: coefficient of variation (%).

Para o *Pinus taeda*, Fraga et al. (2002) encontrou teores de holocelulose de 64,50%, já Andrade (2006) obteve valores para holocelulose variando entre 70,61 e 73,30% nas idades de 8, 14 e 20 anos para mesma espécie. Para espécies do gênero *Eucalyptus*, Gomide et al. (2005) obtiveram resultados variando entre 64,5 e 70,2%. Pereira et al. (2000) para *Eucalyptus benthamii*, obtiveram um teor de 69,70%. Porém, Diogo (2014) apresenta valores para clones de *E. grandis* de um híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* de 77%. Já Santos (2011) para *E. urograndis* obteve uma porcentagem de holocelulose de 74,71%.

Os valores de teor de extrativos encontrados na presente pesquisa foram muito próximos ao encontrado para outras espécies, como *B. vulgaris* que pode variar de 9,46% a 13,37% (Gomide et al., 1982; Bonfatti Júnior, 2010; Fernández, 2010); *Pinus taeda*, que pode variar de 1,85 a 3,10% dependendo da idade (Andrade, 2006), ou atingir valores de 8,2% (Fraga et al., 2002) e; do gênero *Eucalyptus*, que pode variar de 1,76 a 4,13% dependendo da espécie (Pereira et al., 2000; Gomide et al., 2005; Santos, 2011; Diogo, 2014). De acordo com Ferreira et al. (1997), o estudo do teor de extrativos é importante na produção de celulose e papel em razão, principalmente, do consumo de reagentes químicos, perda de rendimento, inibição de reações, incrustação de materiais na polpa e nos

equipamentos, corrosão, podendo também causar certa dificuldade no branqueamento.

Os resultados do teor de lignina obtidos no presente estudo foram menores se comparados às pesquisas de Bonfatti Júnior (2010), Gomide et al. (1982) e Fernández (2010) para a espécie *B. vulgaris*, em que os autores obtiveram um teor de lignina de 22,17%, 17,91% e 22,91%, respectivamente. A lignina de *P. taeda* também teve valores mais altos que o encontrado na presente pesquisa, podendo variar de 26,54 a 29,17% (Fraga et al., 2002; Andrade, 2006). Para espécies do gênero *Eucalyptus* esse valor também é maior que a da presente pesquisa, variando de 23,73 a 31,7% (Pereira et al., 2000; Gomide et al., 2005; Diogo, 2014).

Ao avaliar os dados do presente estudo com os demais estudos acima citados é possível verificar que o linter obteve teor de holocelulose maior que os de eucalipto, pinus e bambu. Já em relação ao teor de extrativos o valor foi menor que o do bambu e muito próximo ao do pinus e do eucalipto. E o teor de lignina foi bem menor se comparado aos estudos com pinus, eucalipto e bambu. Conforme Bonfatti Júnior (2010) os extrativos e a lignina são constituintes considerados como indesejáveis no processo de produção de celulose química, sendo suas determinações, indicativos sobre o rendimento de processo e consumo de reagentes durante a polpação, desta forma, quanto menor for o teor de

extrativos e lignina melhor será o rendimento no processo durante a polpação. Com os resultados obtidos no presente estudo é possível verificar que o linter tem um bom potencial para produção de celulose e papel.

Em relação ao teor de cinzas foi considerado relativamente elevados, porém aceitável ao se considerar uma biomassa residual. Santos (2011), analisando a composição química da madeira de *E. urograndis*, obteve um percentual de cinzas de 0,20%, teor bastante baixo se comparado ao presente estudo.

Os valores obtidos para solubilidade em NaOH 1% e 5% nesta pesquisa foram bastante semelhantes ao encontrado por Santos (2011) para *E. urograndis* (8,18% para solubilidade NaOH 1% e 10,62% para solubilidade NaOH 5%), e inferiores aos determinados por Diogo (2014) para clones de *E. grandis* e de um híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla*, de 10,60 % (NaOH 1%) e 11,07% (NaOH 5%).

Para avaliação da qualidade da polpa foi feita o número de kappa, que segundo MIMMS (1993) fornece o desempenho e a eficácia do processo de cozimento, pois informa o grau de deslignificação atingido na polpa (Diogo, 2014). De acordo com

MIMMS (1993) polpas com número kappa entre 15 e 35 podem ser branqueáveis produzindo papéis para uso fino. Já número kappa entre 30 a 70 são polpas não branqueáveis destinadas à produção de papéis para outros fins como embalagens. Entre 70 a 120 são polpas com alta concentração de lignina e devem ser destinadas a produção de papelão. Com base nestes dados, pode-se afirmar que o linter de algodão analisado no presente estudo pode ser usado para produção de papéis para uso fino, sendo que o tratamento Alvejado 30 obteve valores abaixo de 15, sendo considerado uma ótima matéria prima para produção desse tipo de papel.

Na pesquisa de Diogo (2014) com clone de eucalipto o resultado do número kappa para carga com álcali ativo 14% ficou variando de 23,3 a 27,1 para o clone *E. grandis* e 24,8 a 28,2 para o híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*. Após submeter a polpa a cozimento de álcali ativo 16% o número de kappa reduziu para 17,54 para o *E. grandis* e 18,33 para o *E. grandis* x *E. urophylla*, resultado considerado pelo autor aceitável para esse gênero.

Os resultados encontrados para a composição física do linter do algodão são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados médios da propriedade física de linter reciclado de algodão obtido como resíduo da indústria têxtil (linter reciclado blue 40, linter reciclado blue 30 e linter reciclado alvejado 30), localizada em São Paulo – SP.

Table 2. Average physical property results of recycled cotton linter obtained as waste from the textile industry (blue recycled linter 40, blue recycled linter 30 and bleached recycled linter 30), located in São Paulo – SP.

Análise Física	Blue 30	Blue 40	Alvejado 30	Média	CV%
Teor de secos (%)	95,55 ^a	94,28 ^a	95,28 ^a	95,04	0,47
Umidade (%)	4,45 ^a	5,72 ^a	4,72 ^a	4,96	----
Densidade aparente (g/cm ³)	0,082 ^b	0,088 ^a	0,075 ^c	0,075	1,73

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey no nível de 5%, CV: coeficiente de variação (%).

Means followed by the same letter and line do not differ significantly by the Tukey test at the 5% level; CV: coefficient of variation (%).

A avaliação das propriedades físicas principalmente densidade básica e umidade do linter, são fundamentais para sua utilização no processo de obtenção da celulose, pois seus valores vão influenciar na quantidade dos demais componentes principalmente a lignina.

Os valores do presente estudo se comparado ao estudo de Motta (2009) foram bastantes diferentes por se tratar de um linter residual do algodão. Motta (2009) em seu estudo avaliou três tipos de linter (hidrolisado, mecânico e neutralizado), seus resultados mostraram um percentual de umidade de 26,5% para o linter hidrolisado, 7,1% para o

linter neutralizado e 5,4% para linter mecânico. Para o presente trabalho ambos os resultados foram melhores.

Os resultados da avaliação das características mecânica do linter residual através da classificação das fibras por meio do equipamento Bauer McNett são apresentados na Tabela 3. Verifica-se que a maior porcentagem de fibras ficou retida na peneira 16 mesh, correspondendo a mais da metade do percentual nos tratamentos Blue 30 e Blue 40, já no tratamento Alvejado 30 mais da metade das fibras ficou retida entre as peneiras 16-50 mesh.

Tabela 3. Resultado da classificação das fibras do linter residual de algodão em equipamento Bauer McNett, obtido como resíduo da indústria têxtil (linter reciclado blue 40, linter reciclado blue 30 e linter reciclado alvejado 30), localizada em São Paulo – SP.

Table 3. Result of the classification of the fibers of the residual cotton linter in Bauer McNett equipment, obtained as waste from the textile industry (blue recycled linter 40, blue recycled linter 30 and bleached recycled linter 30), located in São Paulo – SP.

Amostras	Peneiras Mesh					
	16	30	50	100	200	>200
	Peneiras mm					
	1,190	0,595	0,297	0,149	0,074	>0,074
Retenção nas peneiras (%)						
1. Alvejado 30	38,30	9,80	14,45	12,50	7,30	17,65
2. Blue 30	77,10	3,10	4,70	4,65	1,80	8,65
3. Blue 40	86,85	2,35	2,00	1,80	0,80	5,60

No estudo de Diogo (2014) com clone de eucalipto, ao submeter a polpa ao classificador de fibras Bauer Mcnett, com álcali ativo de 14% a maior percentagem de fibras ficou retida nas peneiras de 16-30 e 30-50 mesh com os respectivos valores para *E. grandis* de 44,50% e 39,00% e para *E. grandis* x *E. urophylla* de 44,85% e 37,55%. Novamente submetendo a polpa a cozimento com álcali ativo de 16%, o autor aumentou o valor das porcentagens das fibras retidas nas peneiras 16-30 e 30-50 mesh com os respectivos valores para *E. grandis* de 42,55% e 40,25% e para *E. grandis* x *E. urophylla* de 48,25% e 36,05%. Com isso, o autor reduziu o

número kappa para um valor aceitável para o eucalipto de 24,97 para 17,54, para *E. grandis*, e de 26,37 para 18,33, para *E. grandis* x *E. urophylla*. Tanto no estudo de Diogo (2014) com na presente pesquisa os maiores percentuais de retenção das fibras foram nas peneiras de 16-50 mesh.

Conforme os resultados da Tabela 4 verificou-se que os valores do grau de Schopper-Riegler variaram de 10 a 12, no qual os tratamentos Alvejado 30 e Blue 30 apresentaram os mesmos valores (10), já o tratamento Blue 40 apresentou um valor um pouco maior (12).

Tabela 4. Determinação do grau de refino por Schopper Riegler das fibras do linter residual de algodão obtido como resíduo da indústria têxtil (linter reciclado blue 40, linter reciclado blue 30 e linter reciclado alvejado 30), localizada em São Paulo – SP.

Table 4. Determination of the refining degree by Schopper Riegler of the fibers of the residual cotton linter obtained as waste from the textile industry (blue recycled linter 40, blue 30 recycled linter and bleached 30 recycled linter), located in São Paulo – SP.

Amostras	°SR
1. Alvejado 30	10
2. Blue 30	10
3. Blue 40	12

Segundo Menegazzo (2012), a resistência à drenagem, é expressa em graus Schopper Riegler (°SR), sendo um indicativo da dificuldade com que a água escoar por meio da camada de fibras, assim, o grau de refino torna-se maior com o aumento da energia aplicada nesta operação. Se comparar os dados do presente estudo como os de Menegazzo (2012) ao trabalhar com *E. globulus* (do grau °SR entre 14 a 38), os valores nesta pesquisa foram menores.

Araújo (2004), trabalhando com eucalipto (*E. saligna* Sm.) e bracinga (*Mimosa scabrella* Benth.), obteve valores de 15 para o eucalipto e de 12 a 15 para a bracinga. O autor ressalta que o valor para bracinga foi baixo (12) pela menor população fibrosa da celulose e seu menor valor de retenção de água, o que favorece a drenagem da água por meio da estrutura da manta de fibras formada, dado este também observado no presente estudo.

4 CONCLUSÕES

O linter residual Blue 40 é uma alternativa sustentável para a produção de celulose e papel, principalmente por se tratar de um resíduo industrial. Em relação às fibras oriundas de espécies arbóreas, sobretudo dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, o linter residual apresenta baixo teor extrativos e lignina, o qual melhora o rendimento no processo de polpação e pode ser usado para produção de papéis de uso fino, pois apresenta valor do número kappa entre 15 e 35.

5 AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, A.M. et al. Produção de papéis artesanais das misturas de aparas com fibras virgens de bambu (*Dendrocalamus giganteus*) e de bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). **Revista Floresta e Ambiente**, v. 8, n. único, p. 143-152, 2001.

ANDRADE, A.S. **Qualidade da madeira, celulose e papel em *Pinus taeda* L**: Influência da idade e classe de produtividade. 2006, 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

ARAÚJO, R.H. **Celulose Kraft produzida a partir das madeiras de bracinga (*Mimosa scabrella*) e eucalipto (*Eucalyptus saligna*) misturadas em diferentes proporções**. 2004, 71 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL – BRACELPA. **Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel**. Disponível em: <<http://abtcp.org.br>>. Acesso em: 18 mai. 2015.

AZZINI, A. et al. Caracterização tecnológica de caules de quatro variedades de mandioca como fonte de fibras celulósicas para papel. **Bragantia**, v. 55, n. 2, p. 293-297, 1996.

BONFATTI JÚNIOR, A.E. **Caracterização das propriedades anatômicas, química e densidade da espécie *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C. Wendl., para a produção de celulose Kraft com diferentes cargas de Álcali**. 2010. 67 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília.

DIOGO, F.A. **Qualidade da madeira e da celulose de clones de *Eucalyptus* spp. de diferentes densidades**. 2014. 39 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu.

FERNÁNDEZ, M.A.V. **Avaliação dos processos de polpação soda- Antraquinona e bissulfito-base magnésio para bambu**. 2010. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

FERREIRA, E.B.; CAVALCANTI, P.P.; NOGUEIRA, D.A. **ExpDes.pt: Pacote Experimental Designs (Portuguese)**. R package version 1.2.0. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=ExpDes.pt>>. Acesso: 06 mar. 2019.

FERREIRA, G.W. et al. Qualidade da celulose Kraft-antraquinona de *Eucalyptus dunnii* plantado em cinco espaçamentos em relação ao *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL DA ABTCP, 30., **Anais...** São Paulo: ABTCP, 1997.

FRAGA, D.G.; SILVA JR., F.G.; GONÇALEZ, J.C. Avaliação da Polpação soda de *Pinus taeda* com a adição de Antraquinona. In: CONGRESSO IBERO AMERICANO DE INVESTIGADORES DE CELULOSA Y PAPEL, 1., São Paulo. **Anais...** São Paulo: Congresso Ibero Americano de Celulosa, 2002.

GOMIDE, J.L. et al. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* no Brasil. **Revista Árvore**, v. 29, n. 1, p. 129-137, 2005.

_____; COLODETTE, L.J.; OLIVEIRA, R.C. Estudos das potencialidades do *Bambusa vulgaris* para produção de papéis tipo Kraft. **O papel**, v. 28, n. 7, p. 38-42, 1982.

KUMABE, F.J.B.; SANSÍGOLO, C.A.; HOMCZINSKI, I. Linter reciclado de algodão

MENEGAZZO, M.L. **Característica morfológica s de celulose branqueadas de *Pinus* e *Eucalyptus* em analisador óptico automático de fibras.** 2012. 65 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrônomicas) – Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu.

MIMMS, A. **Kraft pulping, a compilation of notes.** 2. ed. Atlanta: Tappi Press, 1993, 181 p.

MOTTA, E.G. **Utilização do linter hidrolisado como fonte de energia.** 2009. 64 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

PEREIRA, J.C.D. et al. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil.** Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113 p.

PEREIRA, S.J. et al. Celulose de tucum (*Bactris inundata* Martius). **Revista Scientia Forestalis**, n. 65, p. 130-140, 2004.

_____. et al. Celulose de buriti (*Mauritia vinifera* Martius). **Revista Scientia Forestalis**, n. 63, p. 2002-213, 2003.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing.** Viena: R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: <<https://www.R-project.org>>. Acesso em: 14 nov. 2019.

RODRIGUES, C.H.F. **Caracterização química e estudo dos efeitos das variáveis de polpação Kraft e soda do linter de algodão.** 2017. 52 f. Monografia (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Itapeva.

SANTOS, R. **Produção de polpa solúvel a partir de *Eucalyptus urograndis*.** 2011. 76 f. Monografia (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) – Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho”, Itapeva.

SENHORAS, E.M. Oportunidades da cadeia agroindustrial do coco verde: do coco verde nada se perde, tudo se desfruta. **Revista Urutágua**, n. 5, p. 01-14, 2004.

SEVERINO, L.S. et al. **Produto: algodão - Parte 01: Caracterização e Desafios Tecnológicos.** Série Desafios do Agronegócio Brasileiro (NT3). Campina Grande: Embrapa Algodão, 29 p., 2019. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/198192/1/SerieDesafiosAgronegocioBrasileiroNT3Algodao.pdf>>. Acesso em: 30 jun. 2020.

VALVERDE, S.R.; SOARES, N.S.; SILVA, M.L. Desempenho das exportações brasileiras de celulose. **Revista Árvore**, v. 30, n. 6, p. 1017-1023, 2006.

VIDAL, A.C.F. O renascimento de um mercado: o setor de celulose solúvel. **Papel e Celulose. BNDES Setorial**, n. 38, p. 79-130, 2013.

_____.; HORA, A. B. Celulose de fibra longa: uma oportunidade para a indústria brasileira? **Papel e Celulose. BNDES Setorial**, n. 39, p. 281-342, 2014.

WEHR, T. R. **Variações nas características da madeira de *Eucalyptus grandis* HILL Ex Maiden e suas influências na qualidade de cavacos em cozimentos kraft.** 1991. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz- Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.