



ARTIGO ORIGINAL

## Avaliação das propriedades do bagaço de cana e bambu para produção de celulose e papel

### *Evaluation of sugarcane bagasse and bamboo properties for pulp and paper production*

Matheus Felipe Freire Pego<sup>1\*</sup>   
Maria Lúcia Bianchi<sup>1</sup>   
Tais Regina Lima Abreu Veiga<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Lavras (UFLA), Av. Doutor Sylvio Menicucci, 1001, 37200 000, Lavras, MG, Brasil

\*Autor Correspondente:  
E-mail: [matheusfelipefreire@gmail.com](mailto:matheusfelipefreire@gmail.com)

#### PALAVRAS-CHAVE

Fibras não madeiras  
Morfologia das fibras  
Polpação  
Caracterização  
Índices do papel

#### KEYWORDS

Non-wood fibers  
Fibers morphology  
Pulping  
Characterization  
Paper indexes

**RESUMO:** As principais matérias-primas usadas para a produção de celulose e papel no Brasil são madeiras de florestas plantadas. Embora com imenso potencial, o uso de fibras não madeiras é pouco explorado. Diante disso, esse estudo tem como objetivo avaliar o uso do bagaço de cana e bambu para a produção de celulose e papel a partir da caracterização física, química, anatômica e de índices qualitativos. Para isso, foram realizadas análises anatômicas das fibras (comprimento e largura das fibras e vasos, largura do lume e espessura da parede celular), análise dos componentes químicos (teores de celulose, hemiceluloses, lignina, extrativos e cinzas) e da densidade básica. Além disso, calcularam-se os índices de enfiamento, Runkel, Mulsteph, Boiler, coeficiente de flexibilidade e fração parede. Os resultados demonstraram que os materiais diferiram estatisticamente entre si nas propriedades químicas, com exceção dos teores de lignina, na densidade e nas propriedades anatômicas, excluindo a largura dos vasos e índice de enfiamento. O bambu apresentou maiores valores de celulose (52,96%), cinzas (2,34%), densidade (0,461 g/cm<sup>3</sup>), fração parede (67,84%) e índices de Runkel (2,11), Mulsteph (0,90) e Boiler (0,81), enquanto o bagaço de cana apresentou maiores valores de hemiceluloses (17,63%), extrativos (12,81%) e coeficiente de flexibilidade (46,19%). A maioria das propriedades foram similares às observadas em matérias-primas comumente utilizadas para essa finalidade. Portanto, esses dois materiais lignocelulósicos têm potencial para serem usados em indústrias de papel e celulose no Brasil.

**ABSTRACT:** The raw materials commonly used to produce pulp and paper in Brazil are woods from planted forests. Although with tremendous potential, the use of non-wood fibers is inexpressive. This study thus aimed to evaluate the use of sugarcane bagasse and bamboo to produce pulp and paper via physical, chemical and anatomical characterization, and to verify the influence of its properties on the process and the final product. Anatomical analysis of the fibers was performed (length and width from fibers and vessels, lumen width and cell wall thickness), as well as chemical component analysis (cellulose, hemicellulose, lignin, extractives and ash) and basic density of the materials. Moreover, felting rate, Runkel, Mulsteph and Boiler indexes, flexibility coefficient and wall fraction were generated. Results showed that both materials differed statistically in chemical properties, except for lignin content; density and anatomical properties, excluding vessel width and felting rate. Bamboo presented higher values cellulose (52.96%), minerals (2.34%), density (0.461 g/cm<sup>3</sup>), wall fraction (67.84%) and Runkel (2.11), Mulsteph (0.90) and Boiler indices (0.81) values, whereas sugarcane bagasse presented higher hemicellulose (17.63%), extractives (12.81%) and flexibility coefficient (46.19%) values. Most properties were similar to those observed in raw materials commonly used for this purpose. Therefore, these two materials have potential for use in the pulp and paper industries.

Recebido em: 23/08/2019  
Aceite em: 27/11/2019

## 1 Introdução

O setor de papel e celulose é um dos mais importantes e significativos ramos na indústria florestal brasileira, contribuindo com parte significativa dos plantios, balança comercial, investimentos e geração de emprego e renda. Segundo a Indústria Brasileira de Árvores, aproximadamente 2,8 milhões de hectares (36% da área total de florestas plantadas) foram destinados exclusivamente para o segmento de papel e celulose em 2018. Esse setor obteve produção de cerca de 21,1 milhões de toneladas de celulose (2º maior produtor mundial), destinados em sua maioria para exportação, e 10,4 milhões de toneladas de papel (8º maior produtor), consumidos no mercado doméstico, majoritariamente (IBÁ, 2019).

As principais matérias-primas dessa indústria são fibras madeireiras provenientes de florestas plantadas. Destas, a maioria é oriunda de fibras curtas de eucalipto, com 18,29 milhões de t de celulose (87%). Em menor quantidade, a “fibra longa”, principalmente do pinus, corresponde à produção de 2,31 milhões de t (IBÁ, 2019). Outras matérias-primas usadas para polpação são inexpressivas no Brasil quando comparadas com as citadas anteriormente, principalmente fibras não madeireiras. Em contrapartida, considerando o panorama global, essas fibras possuem imenso potencial de uso no Brasil e já são utilizadas em alguns países, como é o caso da China e Índia, por exemplo, com resíduos agropecuários (palhas de cereais, cascas, talos, cânhamo), gramíneas (bambu, *Typha latifolia* L., *Eulaliopsis binata* Retz.) e espécies arbustivas (*Hibiscus* sp.) (Ashori, 2006). Nesses países, cerca de 70% das matérias-primas usadas para produção de celulose e papel são provenientes de fibras não madeireiras (Liu et al., 2018).

Sendo assim, fibras não madeireiras podem se tornar fontes alternativas de matéria-prima para essas indústrias em relação às convencionais. Elas são derivadas de plantas mono ou dicotiledôneas que não apresentam crescimento secundário (Han, 1998; Liu et al., 2018), provenientes de plantas anuais, assim como resíduos gerados durante sua produção. Existem alguns estudos que recomendam a utilização de palha de trigo (Bian et al., 2019; Deniz et al., 2004), palha de cana (Azzini et al., 1996; Novo et al., 2018), bambu (Bilesky et al., 2014), talos de milho (Cheșcă et al., 2018; Reddy & Yang, 2005), linho, cânhamo, juta (Marques et al., 2010), kenaf (Barbash et al., 2018; Ververis et al., 2004), junco (Wille et al., 2017), entre outros materiais como potenciais fontes de fibras para polpação.

Dois tipos de fibras não madeireiras que podem ser utilizados no Brasil para produção de celulose e papel são o bagaço de cana e o bambu. A cana-de-açúcar é uma gramínea perene que possui grande importância para o Brasil, seu maior produtor mundial. Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento, a estimativa de produção para a safra 2019/2020 é de aproximadamente 623 milhões de toneladas (Conab, 2019). O bagaço é um resíduo/subproduto resultante do processamento industrial da cana-de-açúcar, gerado abundantemente. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética, sua produção foi de aproximadamente 165 milhões de toneladas em 2017, contribuindo de forma decisiva na matriz energética nacional (EPE, 2018). No entanto, muitas vezes esse resíduo é descartado, contribuindo para problemas ambientais, ou mesmo subutilizado. Estima-se que aproximadamente 8 milhões de toneladas de bagaço (5% do total produzido) não possui qualquer aplicação considerável

(Rodrigues & Neves Junior, 2018). O bambu é uma gramínea que possui caules lenhosos, que podem ser utilizados em diversas aplicações, como na construção civil, fonte energética e novos materiais (painéis, pisos, carvão). O bambu apresenta grande potencial agrícola e econômico, já que possui ciclo curto de produção (2-6 anos), rusticidade, fácil manejo, reprodução assexuada, alta produtividade (40-60 t/ha/ano), além de suas fibras apresentarem excelentes propriedades físico-químicas e elevada resistência mecânica (Santi, 2015).

O uso de fibras não madeireiras possui diversas vantagens para a polpação. Estas podem requerer menor quantidade de químicos e tempo durante a polpação, há maior aproveitamento de resíduos, menor ciclo de produção, maior rendimento por hectare, além de serem materiais de baixo custo em muitos casos (Hammett et al., 2001; Liu et al., 2018). Outra possibilidade é o uso desses tipos de fibra para a produção sustentável de celulose nanofibrilada para a fabricação de papéis reforçados e outros materiais nanocelulósicos (Fonseca et al., 2019). No entanto, essas fibras podem apresentar muitas variações nas propriedades químicas e físicas, elementos indesejáveis à polpação e branqueamento, como elevados teores de extrativos e minerais, presença de sílica, baixa densidade, problemas de disponibilidade, transporte, armazenamento e qualidade (Han, 1998).

Devido a tantas variáveis presentes no uso de fibras não madeireiras, faz-se necessário compreender melhor as propriedades desses materiais e como elas impactam a produção e/ou o produto final. Além disso, considerando a potencialidade do bagaço e do bambu para a produção de celulose e papel, existem poucos estudos que sugerem a utilização desses materiais no Brasil (Andrade et al., 2001; Azzini et al., 1996; Bilesky, 2014; Borges et al., 2018; Ciaramello, 1970).

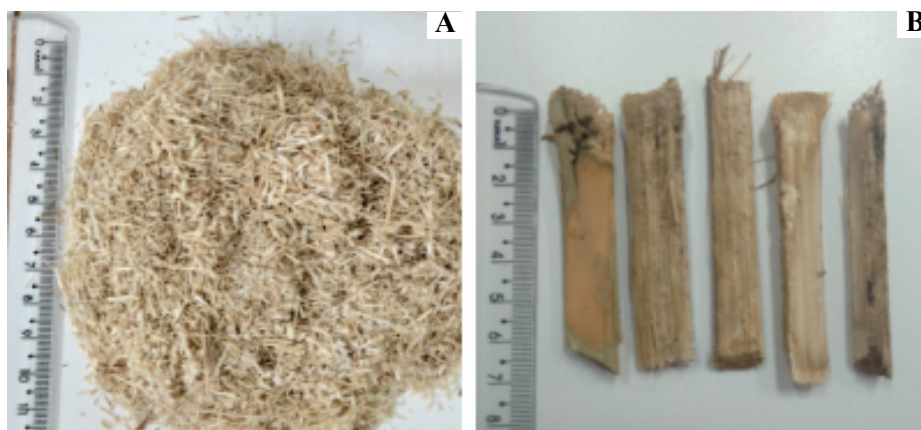
Portanto, este estudo teve como objetivo caracterizar a densidade básica e propriedades químicas e anatômicas do bagaço de cana e do bambu com a finalidade de subsidiar o uso desses materiais para a produção de celulose e papel, além de determinar os principais índices indicativos da qualidade dos papéis.

## 2 Material e Métodos

### 2.1 Matérias-primas

O bambu (*Bambusa vulgaris* Schrad.) foi fornecido pelo grupo Penha Embalagens S/A, localizado no município de Santo Amaro, no estado da Bahia, em forma de cavaco. O plantio possui 47 anos de idade e ciclos de corte a cada 3 anos. Já o bagaço de cana foi fornecido pela empresa Cachaça Bocaina, localizada no município de Lavras, Minas Gerais. Os bagaços (*Saccharum officinarum* L.) foram resíduos provenientes da produção de aguardente.

A amostragem dos materiais foi inteiramente aleatória. As amostras do bambu foram retiradas aleatoriamente de pilhas de cavacos da empresa. Elas foram obtidas da porção dos entrenós e tinham dimensões aproximadas de 7 cm × 1 cm × 0,5 cm (C × L × E). O bagaço de cana foi obtido após extração do caldo da cana-de-açúcar. O material foi lavado abundantemente com água, seco e picado em moinho picador Maqtron M-640T. A porção externa do colmo, conhecida comumente como casca, foi removida. A Figura 1 apresenta imagem dos materiais “in natura”, antes de serem submetidos à caracterização.



**Figura 1.** Imagens do bagaço de cana moído (A) e bambu (B) “in natura”  
**Figure 1.** Images of milled sugarcane bagasse (A) and bamboo (B) “in natura”

## 2.2 Caracterização do bambu e do bagaço de cana-de-açúcar

As caracterizações químicas, juntamente com as respectivas normas, estão apresentadas na Tabela 1. Para a caracterização química, os materiais foram triturados em moinho de rotor Marconi MA-090F (2000 W) e classificados em peneiras sobrepostas de 40-60 mesh. A fração que passou pela peneira de 40 mesh e ficou retida na peneira de 60 mesh foi utilizada para as análises químicas. Todas as propriedades foram analisadas em triplicata. Na extração total foram utilizados 200 mL da solução 2:1 tolueno-etanol e 200 mL de etanol para cada amostra. A extração foi realizada em extrator soxhlet. O tempo de extração foi de 5 horas para o solvente tolueno-etanol e de 4 horas para o etanol. Após a extração, os materiais foram lavados abundantemente com 500 mL de água quente e 500 mL de água fria. A lignina foi determinada pelo método Klason, utilizando ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) 72%. A lignina solúvel foi realizada no espectrofotômetro Shimadzu UV-1601. O teor de cinzas foi realizado em forno mufla Fornitec modelo 1927, com taxa de aquecimento de 100 °C/hora, até 650 °C. O teor de celulose foi determinado utilizando cerca de 1 grama seco da holocelulose extraída, juntamente com 15 mL de KOH 24%. A mistura foi mantida em agitação durante 15 horas em temperatura ambiente. Após esse período, a mistura foi filtrada e lavada com uma solução de água destilada e ácido acético (1%) (1:2), além da lavagem com etanol comercial. O teor de hemicelulose foi estimado pela diferença entre teor de holocelulose e de celulose determinados.

**Tabela 1.** Composição química das matérias-primas  
**Table 1.** Chemical composition of raw materials

Componente	Normas
Extrativos totais	NBR 14853 (ABNT, 2010)
Lignina insolúvel	(Gomide & Demuner, 1986)
Lignina solúvel	(Goldschmidt, 1971)
Cinzas	NBR 13999 (ABNT, 2003b), adaptada
Holocelulose	(Browning, 1981)

A densidade básica foi avaliada pelo método de imersão, de forma adaptada da norma NBR 11.941 (ABNT, 2003a). A densidade foi analisada em triplicata. As fibras foram saturadas, tiveram o volume mensurado por imersão total em água e depois secas à temperatura de 103 °C ( $\pm 2$  °C), até atingir massa constante. Não houve padronização nas dimensões das amostras para o bagaço, uma vez que o material apresentava dificuldade para manuseio, e foi usada uma garra laboratorial, que teve seu volume descontado.

Para a individualização das fibras, pequenos fragmentos de cada material foram retirados e colocados em frascos com solução de peróxido de hidrogênio (30%) e ácido acético glacial 1 mol/L, na proporção de 1:1. Os frascos foram acondicionados em estufa a 60 °C por 48 horas até a completa individualização e descoloração das fibras (Franklin, 1945). As fibras foram lavadas em água destilada corrente, coradas com safranina e, posteriormente, montadas em lâminas temporárias para as medições da morfologia.

As caracterizações anatômicas foram realizadas de acordo com as recomendações do Iawa Committee (1989). A caracterização morfológica consistiu em medições do comprimento (C) e largura das fibras (L), espessura da parede celular (E) e largura do lume (d), além das medições do comprimento e largura dos elementos de vasos. A espessura da parede foi obtida baseando-se nas larguras das fibras e diâmetros dos lumes. Cinco lâminas temporárias para cada material foram preparadas. A amostragem foi inteiramente aleatória. De cada lâmina, realizou-se uma média de seis medições das fibras e vasos, totalizando 30 medições para cada propriedade morfológica. Posteriormente, determinaram-se a média, o desvio padrão, o coeficiente de variação, o valor máximo e o valor mínimo para cada característica. As medições foram realizadas em microscópio ótico Ken-A-Vision modelo TT-1010 adaptado com ocular micrométrica e lâmina com escala graduada de 1 mm no software Wincell. As medições foram realizadas na objetiva de 4x para o comprimento das fibras e dimensões dos vasos, e na objetiva de 40x para a largura das fibras e do lume. Após as medições, os principais índices morfológicos que impactam a qualidade da polpa e do papel foram quantificados considerando as características morfológicas, de acordo com as relações apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 2.** Índices e coeficientes associados às matérias-primas que afetam a qualidade dos produtos**Table 2.** Indices and coefficients associated to raw materials that affect product quality

Índice	Relação
Índice de enfiamento	$C / L$
Coefficiente de flexibilidade	$(d / L) \times 100$
Fração parede	$(2E / L) \times 100$
Índice de Runkel	$2E / d$
Índice de Mulsteph	$(L^2 - d^2) / L^2$
Índice de Boiler	$(L^2 - d^2) / (L^2 + d^2)$

C = comprimento; L = largura; d = diâmetro do lume; E = espessura da parede celular

### 2.3 Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas para a composição química e para a morfologia dos materiais. Foram realizadas três repetições para cada componente químico e 30 repetições para as medições das variáveis morfológicas. Os resultados foram avaliados por análise de variância. Os dados foram verificados quanto à normalidade, homogeneidade de variâncias e ausência de autocorrelação de resíduos. As análises estatísticas foram realizadas no software SISVAR (Ferreira, 2011).

## 3 Resultados e discussão

### 3.1 Composição química e densidade básica do bagaço de cana e bambu

A Tabela 3 apresenta os teores médios da composição química do bagaço e do bambu. Os teores da composição química estão em concordância com valores encontrados por Ribeiro Gouveia et al. (2009) para o bagaço, e por Brito et al. (1987), Guimarães Junior et al. (2010) e Bilesky (2014) para o bambu, que caracterizaram quimicamente essas matérias-primas.

Foram observadas diferenças estatísticas entre os teores médios dos extrativos, celulose, hemiceluloses e cinzas, evidenciado que esses materiais apresentaram constituição química diferenciada.

O bagaço de cana apresentou teor de extrativos elevado (12,81%) quando comparados com o bambu (7,78%) e outras matérias-primas usadas para polpação, como eucalipto (2-6%) e pinus (3-5%) (Benites et al., 2018; Edmunds et al., 2017; Jardim et al., 2017). O teor de extrativos do bambu é próximo do reportado na literatura para as matérias-primas utilizadas atualmente no Brasil para polpação. Os extrativos são empecilhos durante a polpação. Podem ser responsáveis pelas formações dos pitch, complexas substâncias originadas durante esse processo (Singh et al., 2019) que se depositam nos maquinários, causando redução da produção, aumento nos custos de manutenção, dificuldades operacionais, além de comprometerem o produto final. Além disso, elevado teor de extrativos impacta o rendimento e aumenta o consumo de reagentes durante a polpação (Carvalho et al., 2014).

Não foram observadas diferenças estatísticas entre os teores de ligninas solúvel, insolúvel e total para os materiais. Nos dois casos, os teores de lignina total, embora menores, foram semelhantes aos valores médios encontrados em madeiras, como o eucalipto (25-30%) e pinus (23-28%) (Benites et al., 2018; Edmunds et al., 2017; Jardim et al., 2017). No entanto, algumas matérias-primas podem apresentar teores elevados de lignina, afetando o processo de polpação, como é o caso de outras fibras não madeireiras (Liu et al., 2018), abetos e espécies nativas euroasiáticas (Wang et al. 2018). Além disso, fatores fenotípicos, como a influência climática e qualidade dos solos, podem afetar essa variável, apesar de ela apresentar elevada herdabilidade (Golle et al., 2009). Assim, os teores desses dois materiais podem ser considerados como adequados para a produção de papel e celulose. A lignina é um importante componente químico dos materiais lignocelulósicos, mas é indesejável para o processo de polpação química e fabricação do papel. Durante a polpação química, a lignina é atacada por agentes químicos de modo a ser degradada, desconstruindo a estrutura do material e mantendo os carboidratos, principalmente a celulose. Além disso, a lignina afeta o papel no branqueamento e em algumas propriedades, principalmente óticas (Popa, 2013).

O teor de cinzas diferiu estatisticamente entre os materiais lignocelulósicos avaliados. Esse teor para o bambu (2,34%) é aproximadamente o triplo do apresentado pelo bagaço de cana (0,79%), indicando que se deve ter cuidado especial ao submetê-lo à polpação. A maioria das matérias-primas destinadas para

**Tabela 3.** Composição química percentual dos materiais**Table 3.** Percentage chemical composition of materials

Material	Componente em percentual – base massa seca (%)						
	Extrativos totais	Lignina insolúvel	Lignina solúvel	Lignina total	Celulose	Hemiceluloses	Cinzas
Bagaço de cana	12,81 a (± 0,78)	22,63 a (± 0,25)	2,71 a (± 0,15)	25,34 a (± 0,20)	43,43 b (± 1,44)	17,63 a (± 1,02)	0,79 b (± 0,13)
Bambu	7,78 b (± 0,61)	22,90 a (± 0,49)	2,25 a (± 0,20)	25,15 a (± 0,34)	52,96 a (± 0,89)	11,77 b (± 1,01)	2,34 a (± 0,05)

Nota: Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste F no nível de significância de 5%.

a polpação possuem teores de cinzas menores que 1%, ainda que resíduos agrícolas possam apresentar elevados teores em alguns casos, muitas vezes devido à presença de silicatos em sua estrutura (Vieira, 2012). Teores de cinzas acima de 1% podem comprometer o consumo e a recuperação de reagentes, o rendimento da polpação, o processo de cavaqueamento, afetar o desgaste e manutenção dos equipamentos e os custos de produção

A celulose é o principal componente químico presente nas polpas e nos papéis. Durante a polpação, a grande maioria dos componentes são amplamente atacados por produtos químicos, com exceção da celulose. Assim, o teor de celulose de um material é crucial para a indústria de papel e celulose (Popa, 2013). De acordo com a Tabela 3, é possível observar que há diferenças estatísticas no teor de celulose entre os materiais. O teor de celulose do bambu é aproximadamente 22% maior que o do bagaço, podendo indicar que o rendimento da polpação desse material seja mais elevado (Borges et al., 2018). No entanto, embora o teor de celulose do bagaço seja inferior ao bambu, este apresenta teor aceitável à polpação, comparável com alguns eucaliptos (43-50%) e outras folhosas usadas para esse fim (45%) (Gomide et al., 2005), além de oferecer outras vantagens, principalmente ambientais.

As hemiceluloses são componentes químicos que possuem grande importância para a qualidade da polpação e desempenho dos papéis. Essas estruturas favorecem a ligação fibra-fibra e, consequentemente, a resistência desses produtos; aumentam o rendimento; impactam a área específica; e afetam propriedades das pastas celulósicas, como a absorção de água, a viscosidade, a facilidade do refino e a secagem (Mokfienski, 2004). Assim como em outras propriedades, as duas biomassas diferiram-se em relação ao teor de hemiceluloses em suas estruturas. O bagaço apresentou valor de hemicelulose superior ao bambu (17,67% contra 11,77%), que pode contribuir para a melhoria das ligações fibra-fibra no papel. No entanto, elas apresentaram valores abaixo de outras matérias-primas usadas na polpação. Algumas espécies e clones de eucalipto chegam a conter 28%

de hemiceluloses (Gomes Goveia et al., 2009). Já a madeira de pinus comumente utilizada em polpação apresenta teores próximos a 22% (Morais et al., 2005).

A composição química das matérias-primas destinadas para a polpação e produção de celulose e papel é de fundamental importância, já que impacta fortemente o processo produtivo, o rendimento e a qualidade dos produtos. Assim, pode-se inferir que, com relação à composição química, essas matérias-primas possuem teores similares às madeiras comumente utilizadas (eucaliptos e pinus) para a polpação e produção de papel, excluindo-se os teores de extrativos e minerais, podendo se tornar potenciais materiais não madeireiros nessas indústrias.

A densidade básica média para o bagaço e bambu foi de  $0,146 \pm 0,024 \text{ g/cm}^3$  e  $0,461 \pm 0,070 \text{ g/cm}^3$ , respectivamente. Esses resultados estão em concordância com trabalhos realizados por Tomazello Filho & Azinni (1987), Silva & Morais (2008), Santi (2015) e Vale et al. (2017), que encontraram densidades variando entre  $0,090$  e  $0,160 \text{ g/cm}^3$  para o bagaço, e  $0,450$  e  $0,710 \text{ g/cm}^3$  para o bambu. A densidade do bambu é aproximadamente 3,2 vezes maior que a densidade do bagaço. Portanto, esses materiais são distintos para essa propriedade, podendo ser classificados como de média e baixa densidade, respectivamente. A densidade do bambu é próxima à encontrada para a maioria das madeiras usadas como matéria-prima para celulose e papel. Valores de densidade variando de  $0,430$  a  $0,520 \text{ g/cm}^3$  e  $0,330$  a  $0,400 \text{ g/cm}^3$  são encontrados nas espécies de eucalipto e pinus mais utilizadas para polpação, respectivamente (Alves et al., 2011; Bassa et al., 2007; Gomide et al., 2010). A densidade pode estar relacionada com a espessura da parede celular (Tabela 4), assim como o percentual de fibras. A densidade tem um grande impacto sobre o processo de polpação, o rendimento e a eficiência. Ela impacta o carregamento do digestor, já que, quanto maior a quantidade de massa para um mesmo volume, melhor. Além disso, impacta a uniformidade da carga, a quantidade de reagentes, sua impregnação e difusão, a remoção da lignina e as propriedades finais das polpas e papéis resultantes (Cremonez et al. 2019).

**Tabela 4.** Medidas anatômicas das fibras do bagaço de cana e do bambu

**Table 4.** Anatomical measurements of sugarcane bagasse and bamboo fibers

Material	Parâmetros	Parâmetros morfológicos					
		Fibras				Vasos	
		Comp.	Larg.	Larg. lume	Espessura PC	Comp.	Larg.
Bagaço	Média ( $\mu\text{m}$ )	2219,1 b	19,1 b	8,8 a	5,1 b	373,6 b	148,3 a
	D. Pad. ( $\mu\text{m}$ )	398,5	2,5	2,6	1,2	73,0	32,1
	CV (%)	17,96	13,02	28,94	24,08	19,54	21,65
	Máximo ( $\mu\text{m}$ )	2985	24	14	7,5	505	212
	Mínimo ( $\mu\text{m}$ )	1605	15	4	3,5	242	99
Bambu	Média ( $\mu\text{m}$ )	2590,6 a	21,3 a	6,9 b	7,2 a	877,8 a	164,9 a
	D. Pad. ( $\mu\text{m}$ )	417,8	2,1	2,5	1,6	190,0	51,1
	CV (%)	16,13	9,65	36,47	21,82	21,64	30,98
	Máximo ( $\mu\text{m}$ )	3356	24	12	9	1200	251
	Mínimo ( $\mu\text{m}$ )	2005	15	4	4,5	589	89

Comp. = comprimento; Larg. = largura; PC = parede celular; D. Pad. = desvio padrão; CV = coeficiente de variação.

Nota: Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey no nível de significância de 5%.

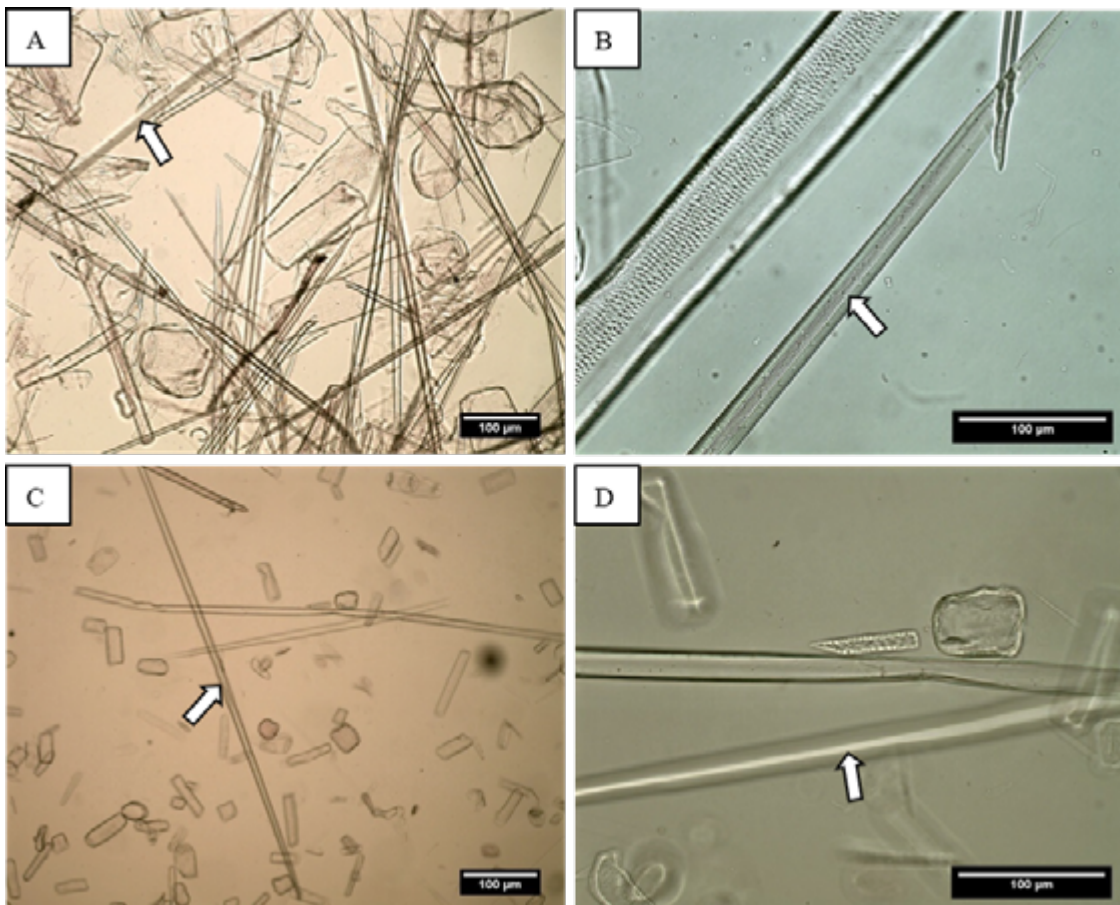
### 3.2 3.2 Caracterização morfológica das fibras

A Tabela 4 mostra os valores dos parâmetros morfológicos das fibras estudadas. Os valores encontrados concordam com Guimarães Junior et al. (2010), Ribeiro Gouveia et al. (2009) e Santi (2015) para ambos os materiais, mesmo que de origem diferente.

Diferenças estatísticas entre os materiais lignocelulósicos estudados ocorreram em todos os parâmetros morfológicos, com exceção da largura dos vasos. O bambu apresentou

maior comprimento e largura de fibras, maior espessura da parede celular, maior comprimento dos vasos e menor largura do lume comparado ao bagaço de cana. Na Figura 2 é possível observar as propriedades morfológicas das fibras e as diferenças entre os materiais.

As fibras de ambos os materiais apresentam grande comprimento, característica desejável em papéis resistentes. A fibra do bambu é aproximadamente 17% maior que a fibra do bagaço. Essas fibras são classificadas como fibras longas



Nota: Setas nas figuras A e C indicam as fibras e nas figuras B e D indicam a espessura da parede celular.

**Figura 2.** Microfotografias do bagaço de cana em objetivas de 10x (A) e 40x (B) e do bambu em objetivas de 10x (C) e 40x (D)

**Figure 2.** Microphotographs of sugarcane bagasse on 10x (A) and 40x (B) and bamboo on 10x (C) and 40x (D)

de acordo com a Comisión Panamericana de Normas Técnicas (Copant, 1974). No entanto, se compararmos com outras fibras usadas para a produção de papéis, como eucalipto (0,8 mm), acácia (0,6 mm) e pinus (3,5 mm) (Benites et al., 2018; Jardim et al., 2017), podemos classificá-las como fibras de comprimento intermediário, já que não são curtas como o eucalipto nem longas quanto o pinus, embora alguns autores considerem fibras maiores que 2 mm como longas para a produção de papel e celulose (Copant, 1974). O comprimento das fibras é muito importante para as propriedades e qualidade do papel e, com isso, para sua aplicação. Segundo Foelkel (2007), o comprimento das fibras afeta principalmente a resistência mecânica do papel e a formação da folha. Geralmente, fibras

longas produzem papéis de elevada resistência mecânica (rasgo, arrebentamento e dobras duplas), além de afetar a velocidade aceitável da máquina de papel (resistência úmida do papel). Em contrapartida, fibras curtas favorecem a formação das folhas, melhoram propriedades superficiais, ligação interfibras, e apresentam elevada resistência à tração (Dias & Simonelli, 2013).

A largura da fibra do bambu é aproximadamente 11,5% maior que a fibra do bagaço de cana. A largura das fibras, assim como o comprimento, é uma propriedade morfológica importante, já que afeta outras propriedades como a esbelteza, a flexibilidade e a rigidez, além de impactar os índices indicativos de qualidade dos papéis. A largura do lume do bagaço é aproximadamente 27,5%

maior que a do bambu. Esta característica está inversamente relacionada com a espessura da parede celular e a densidade.

Com relação à espessura da parede celular, é possível observar que os materiais apresentam diferenças estatísticas, apresentadas na Tabela 4 e constatadas na Figura 2. A espessura da parede celular do bambu é cerca de 41% maior que a do bagaço de cana. Essa diferença certamente resulta em impactos na densidade do material, na flexibilidade e rigidez de suas fibras e, conseqüentemente, na produção e qualidade da celulose e do papel.

Observando as dimensões dos vasos dos materiais estudados, o bambu apresenta vasos com maiores dimensões quando confrontados com o bagaço. Considerando a área seccional e volume desses elementos, os vasos do bambu possuem aproximadamente o triplo da dimensão dos vasos do bagaço de cana. No entanto, ambos possuem vasos que podem ser considerados de grandes dimensões, quando comparados com outras matérias-primas usadas na polpação, como é o caso do eucalipto (80-250 × 50-100 µm) (Alves et al., 2011).

Os vasos são muito importantes durante a formação do papel e sua posterior utilização. Podem afetar a ligação entre as fibras, de forma análoga à uma interrupção na continuidade das estruturas fibrosas, podendo causar reduções na resistência do papel. Além disso, quando na superfície, os vasos podem afetar a capacidade de impressão e propriedades físicas, como porosidade e rugosidade, já que podem estar fracamente aderidos à estrutura do papel.

No entanto, durante a polpação química, a maioria dos vasos são destruídos por reagentes químicos e, com isso, possuem pouca influência sobre a formação e qualidade do papel. Já em polpas mecânicas, os vasos possuem forte influência, afetando diversas propriedades, sendo seu estudo, portanto, de fundamental importância.

Além disso, os vasos podem afetar a penetração e impregnação dos licores durante a polpação, além de afetar outras propriedades importantes nos materiais, como é o caso da densidade (Alves et al., 2011). Nesse caso, materiais que possuem vasos de grandes dimensões e alta frequência podem apresentar maior impregnação durante o processo de polpação,

devido ao aumento da permeabilidade. Em contrapartida, esses materiais possivelmente produzirão papéis de qualidade insatisfatória, uma vez que os vasos atuam negativamente nas principais propriedades papeleiras.

Relações entre parâmetros morfológicos das fibras são mais apropriados que valores individualizados. Baseados nas médias da morfologia das fibras apresentadas na Tabela 4, os índices que indicam a qualidade dos materiais foram determinados. Esses índices podem prever propriedades e qualidade dos papéis, principalmente a resistência às diferentes solicitações e a formação da folha de papel (Alves et al., 2011).

A Tabela 5 apresenta os respectivos índices indicativos da qualidade da celulose e papel dos materiais usados nesse trabalho. Com intuito de comparação, também são apresentados valores de índices para materiais comumente utilizados no Brasil para a produção de papel e celulose. Existem diferenças estatísticas entre o bagaço e o bambu para todos os índices indicativos, com exceção do índice de enfiamento. O bambu apresentou maior fração parede e índices de Runkel, Mulsteph e Boiler, enquanto o bagaço apresentou maior coeficiente de flexibilidade.

O índice de enfiamento está relacionado com a esbeltez das fibras e com propriedades de resistência, como ao rasgo e arrebentamento. O índice de enfiamento dos dois materiais não diferiram estatisticamente entre si. Estes valores podem ser considerados como médios quando relacionamos com outras matérias-primas apresentadas na Tabela 5, e são impactados principalmente pelo elevado comprimento de suas fibras. Essa característica pode indicar que são fibras resistentes ao rasgo, devido ao alto valor desse índice (Rocha & Potiguara, 2007) podendo, por exemplo, serem usadas como papéis para embalagem.

O coeficiente de flexibilidade está relacionado à espessura da parede celular das fibras e, com isso, à sua flexibilidade. Assim, fibras mais flexíveis tendem a ter maior possibilidade de ligação entre fibras, podendo afetar, com isso, propriedades mecânicas como a resistência à tração e ao arrebentamento. As fibras do bagaço apresentaram maior coeficiente de flexibilidade (46,19%) em comparação com o bambu (32,16%), demonstrando ser mais flexíveis. De acordo com Mamaye et

**Tabela 5.** Índices indicativos da qualidade da celulose e do papel

**Table 5.** Indicative indices of pulp and paper quality

Materiais	Índices indicativos					
	IE	CF (%)	FP (%)	IR	IM	IB
Bagaço	116,49 a (± 24,1)	46,19 a (± 11,7)	53,81 b (± 11,1)	1,16 b (± 0,71)	0,79 b (± 0,10)	0,65 b (± 0,14)
Bambu	121,62 a (± 21,1)	32,16 b (± 12,06)	67,84 a (± 12,1)	2,11 a (± 1,04)	0,90 a (± 0,09)	0,81 a (± 0,13)
Eucalipto	49-67	60-68	32-40	0,48-0,6	0,26-0,43	0,15-0,27
Pinus	84-93	66-69	31-34	0,45-0,50	0,52-0,55	0,35-0,40
Sisal	155-180	34-37	63-66	1,6-1,95	0,8-0,9	0,75-0,8

IE = índice de enfiamento; CF = coeficiente de flexibilidade; FP = fração parede; IR = índice de Runkel; IM = índice de Mulsteph; IB = índice de Boiler.

Nota: Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste F no nível de significância de 5%. Valores médios dos índices de outras espécies comerciais foram baseados nos trabalhos de Barrichelo & Foelkel (1976), Nigoski (2005) e Azzini & Ciaramello (1977).

al. (2019) e Rusch et al. (2019), o bagaço tende a apresentar colapso parcial, grande superfície de contato e união fibra-fibra satisfatória, enquanto o bambu tende a apresentar pouco colapso, pouca superfície de contato e pouca união fibra-fibra. Assim, essas fibras possuem como características a parede celular de espessura média, podendo apresentar boa união fibra-fibra, e a seção transversal tendendo para o formato elíptico, tendo suas fibras parcialmente colapsadas.

Já o bambu apresentou parede celular mais espessa comparativamente ao bagaço. Assim, possui flexibilidade menor e, com isso, pode tender a apresentar pouca união fibra-fibra e superfície de contato, tendo suas fibras muito pouco colapsadas. Portanto, é provável que papéis produzidos a partir do bagaço apresentem maior resistência à tração que papéis produzidos usando o bambu, devido à maior possibilidade de união fibra-fibra. Comparando com pinus e eucalipto, ambas as fibras estudadas apresentam menor valor para o coeficiente de flexibilidade.

Já a fração parede é relacionada com a rigidez das fibras. Fibras que apresentam elevada fração parede possuem parede celular mais espessa, tornando-as mais rígidas e com menor propensão às ligações, impactando a resistência. O bagaço apresentou fração parede de aproximadamente 54%, o que pode ser classificado como uma rigidez média. Já o bambu apresentou fração parede de aproximadamente 68%, podendo ser classificado como alta rigidez. Embora ambos os materiais possam ser considerados adequados para a polpação, o bambu pode requerer melhorias no processo de refino, adição de cargas e aditivos ou mesmo adição de fibras mais flexíveis em misturas.

O índice de Runkel é um índice muito importante para as propriedades papeleiras, pois prediz a qualidade de determinado produto, já que existe uma ligação íntima entre o índice e a ligação entre as fibras. Geralmente, índices menores que 1 apresentam excelente classificação para o papel, enquanto índices de 1 a 2 são regulares (Mercy et al., 2017). Quanto maior o índice, pior a qualidade dessa matéria-prima para a produção papeleira. Comparando os índices encontrados, o bagaço (1,16) apresenta menor índice em relação ao bambu (2,11), sugerindo que o bagaço de cana possa apresentar maior ligação entre as fibras durante a formação dos papéis. Outras fibras usadas para polpação e papel apresentam valores de índice de Runkel de 1,1 para *E. dunnii* (Florsheim et al., 2009), 1,12 para *E. camaldulensis*, 0,87 para *E. grandis* e 0,473 a 0,609 para clones de *Eucalyptus spp.* (Talgatti et al. 2020), 2,15 para a palha de cana-de-açúcar (Azzini et al. 1996) e 0,58 para *P. patula* (Shimoyama & Wiecheteck, 1993).

O índice de Mulsteph está relacionado com a capacidade de colapso que as fibras podem apresentar, já que é relação da área relativa da parede celular sobre toda a fibra. O índice de Boiler é similar, mas dado pela diferença quadrática entre o diâmetro da fibra e do lume. De acordo com Akgul e Tozluoglu (2009), índices que apresentem valores menores que 0,5 são desejados para a produção de papel e celulose, pois estão relacionados a menor área relativa da parede celular, indicando paredes delgadas. Para o bagaço de cana, tanto o índice de Mulsteph quanto o de Boiler podem ser considerados como médios quando comparados aos dos materiais citados

na Tabela 5. No entanto, o bambu apresenta valores elevados desses índices, comparáveis às fibras longas do sisal.

## 4 Conclusões

A análise da densidade e das propriedades químicas e anatômicas do bagaço de cana e do bambu permite concluir que esses materiais têm potencial para serem utilizados como matéria-prima nas indústrias de papel e celulose. O bambu apresentou maiores teores de celulose (52,96%) e minerais (2,34%), e menores teores de hemiceluloses (11,77%) e extrativos (7,78%) em comparação com o bagaço de cana. O bambu também apresentou maior densidade, similar às matérias-primas convencionais, além de maior comprimento e largura de fibras, maior espessura da parede celular e maiores dimensões dos vasos. Ambos os materiais podem ser considerados como fibras longas, especialmente requisitadas em papéis que demandam alta resistência mecânica. As propriedades químicas e morfológicas e os respectivos índices se assemelharam aos de matérias-primas comumente utilizadas para esse fim, como o eucalipto e o pinus. Esses materiais podem ser usados em mistura de diferentes fibras celulósicas para a produção de papel e tornar-se fontes alternativas de matéria-prima em pequenas e médias indústrias que visem ao aproveitamento de resíduos e diversificação de seus produtos, oferecendo vantagens econômicas e ambientais.

## Referências

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 11941-02*: determinação da densidade básica em madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 2003a.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 13999*: determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525 °C. Rio de Janeiro: ABNT, 2003b.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 14853*: determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano e em acetona. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.
- AKGUL, M.; TOZLUOGLU, A. Some chemical and morphological properties of juvenile woods from beech (*Fagus orientalis* L.) and pine (*Pinus nigra* A.) plantations. *Trends in Applied Sciences Research*, Lagos, v. 4, n. 2, p. 116-125, 2009.
- ALVES, I. C. N.; GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; SILVA, H. D. Caracterização tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de celulose kraft. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 167-174, 2011.
- ANDRADE, A. M.; DUARTE, A. P. C.; BELGACEM, M. N.; MUNARO, E. R. Produção de papéis artesanais das misturas de aparas com fibras virgens de bambu (*Dendrocalamus giganteus*) e de bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). *Floram*, Seropédica, v. 8, n. 1, p. 143-152, 2001.
- ASHORI, A. Nonwood fibers: a potential source of raw material in papermaking. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, Abingdon, v. 45, n. 10, p. 1133-1136, 2006.
- AZZINI, A.; CIARAMELLO, D. Dimensões das fibras em agave. *Bragantia*, Campinas, v. 36, n. 9, p. 35-38, 1977.



- AZZINI, A.; ZIMBACK, L.; GONDIM-TOMAZ, R. M. A. Sugarcane straw as raw material to produce cellulosic fibers for papermaking. *Bragantia*, Campinas, v. 55, n. 1, p. 137-140, 1996.
- BARBASH, V. A.; YASHCHENKO, O. V.; OPOLSKY, V. O. Effect of hydrolysis conditions of organosolv pulp from kenaf fibers on the physicochemical properties of the obtained nanocellulose. *Theoretical and Experimental Chemistry*, New York, v. 54, n. 3, p. 193-198, 2018.
- BARRICHELO, L. E. G.; FOELKEL, C. E. B. Estudos para produção de celulose sulfato de seis espécies de Eucalipto. *IPEF*, Piracicaba, n. 12, p. 77-95, 1976.
- BASSA, A. G. M. C.; SILVA JUNIOR, F. G.; SACON, V. M. Misturas de madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Pinus taeda* para produção de celulose kraft através do processo lo-solids. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, n. 75, p. 19-29, 2007.
- BENITES, P. K. R. M.; LOPES, A. S.; GOUVÊA, A. F. G.; SILVA, F. C.; SOUZA, C. C. B. Caracterização tecnológica da madeira de híbridos de eucalipto irrigados e fertirrigados. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 28, n. 4, p. 1716-1728, 2018.
- BIAN, H.; GAO, Y.; LUO, J.; JIAO, L.; WU, W.; FANG, G.; DAI, H. Lignocellulosic nanofibrils produced using wheat straw and their pulping solid residue: From agricultural waste to cellulose nanomaterials. *Waste Management*, New York, v. 91, p. 1-8, 2019.
- BILESKY, P. R. *Caracterização química, física e anatômica do bambu Guadua tagoara para polpação kraft*. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2014.
- BORGES, F. P.; COLODETTE, J. L.; GOMES, F. J. B. Utilização do bambu como matéria-prima na obtenção de polpa celulósica voltada à fabricação de papel de embalagem sackkraft. *The journal of engineering and exact sciences*, Viçosa, v. 4, n. 4, p. 1-7, 2018.
- BRITO, J. O.; TOMAZELLO FILHO, M.; SALGADO, A. L. B. Produção e caracterização do carvão vegetal de espécies e variedades de bambu. *IPEF*, Piracicaba, v. 36, p. 1317, 1987.
- BROWNING, B. L. *The chemistry of wood*. New York: J. Wiley & Sons, 1981.
- CARVALHO, D. M.; SILVA, M. R.; COLODETTE, J. L. Efeito da qualidade da madeira no desempenho da polpação kraft. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 677684, 2014.
- CHEȘCĂ, A. M.; NICU, R. TOFANICA, B. M.; PUITEL, A. C.; VLASE, R. GAVRILESCU, D. Pulping of corn stalks: assessment for bio-based packaging materials. *Cellulose chemistry and technology*, București, v. 5, n. 7-8, p. 645-653, 2018.
- CIARAMELLO, D. Bambu como matéria-prima para papel: estudo de processos de cozimento em material de *Bambusa tuldoidea* Munro. *Bragantia*, Campinas, v. 29, n. 2, p. 11-22, 1970.
- CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. *Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar: Safra 2018/19*. Brasília, DF: Conab, v. 5, n. 4, 2019.
- COPANT – COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. Descripción de características generales, macroscópicas de las maderas angiospermas dicotiledóneas. *Copant*, La Paz, v. 30, p. 1-19, 1974.
- CREMONEZ, V. G.; BONFATTI JUNIOR, E. A. B.; ANDRADE, A. S.; SILVA, E. L.; KLITZKE, R. J.; KLOCK, U. Wood basic density effect of *Eucalyptus grandis* in the paper making. *Matéria*, Rio de Janeiro, v. 24, n. 3, p. 1-11, 2019.
- DENIZ, I.; KIRCI, H.; ATES, S. Optimisation of wheat straw Triticum drum kraft pulping. *Industrial Crops and Products*, Amsterdam, v. 19, n. 3, p. 237-243, 2004.
- DIAS, O. A.; SIMONELLI, G. Qualidade da madeira para a produção de celulose e papel. *Enciclopédia Biosfera*, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 3632-3646, 2013.
- EDMUNDS, C. W.; PERALTA, P.; KELLEY, S. S.; CHIANG, V. L.; SHARMASHIVAPPA, R. R.; DAVIS, M. F.; HARMAN-WARE, A. E.; SYKES, R. W.; GJERSING, E.; CUNNINGHAM, M. W.; ROTTMANN, W.; MILLER, Z. D.; PESZLEN, I. Characterization and enzymatic hydrolysis of wood from transgenic *Pinus taeda* engineered with syringyl lignin or reduced lignin content. *Cellulose*, New York, v. 24, n. 4, p. 1901-1914, 2017.
- EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Matriz energética nacional 2018: ano base 2017*. Brasília, DF: EPE, 2018.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- FLORSHEIM, S. M. B.; COUTO, H. T. Z.; LIMA, I. L.; LONGUI, E. L. Variação nas dimensões dos elementos anatômicos da madeira de *Eucalyptus dunnii* aos sete anos de idade. *Revista Instituto Florestal*, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 79-91, 2009.
- FOELKEL, C. As fibras dos eucaliptos e as qualidades requeridas na celulose kraft para a fabricação de papel. In: ABTCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL. (org.). *Eucalyptus online book e newsletter*. São Paulo: ABTCP, 2007. p. 148.
- FONSECA, A. S.; PANTHAPULAKKAL, S.; KONAR, S. K.; SAIN, M.; BUFALINOF, L.; RAABE, J.; MIRANDA, I. P. A.; MARTINS, M. A.; TONOLI, G. H. D. Improving cellulose nanofibrillation of non-wood fiber using alkaline and bleaching pre-treatments. *Industrial Crops and Products*, Amsterdam, v. 131, p. 203-212, 2019.
- FRANKLIN, G. L. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood: resin composites, and a new macerating method for wood. *Nature*, London, v. 155, n. 51, 1945.
- GOLDSCHMIDT, O. Ultraviolet spectra lignin: occurrence, formation, structure and reactions. In: SARKANEN, K. V.; LUDWIG, C. H. (ed.). *Lignins, occurrence, formation, structure and reactions*. New York: Wiley Interscience, 1971. p. 241-266.
- GOLLE, D. P.; REINIGER, L. R. S.; CURTI, A. R.; BEVILACQUA, C. B. Melhoria florestal: ênfase na aplicação da biotecnologia. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 39, n. 5, p. 16061613, 2009.
- GOMES GOUVEIA, A. F. G.; TRUGILO, P. F.; COLODETTE, J. L.; LIMA, J. T.; SILVA, J. R. M.; GOMIDE, J. L. Avaliação da madeira e da polpação kraft em clones de eucaliptos. *Revista Arvore*, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1175-1185, 2009.
- GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. *O Papel*, São Paulo, v. 47, n. 8, p. 36-38, 1986.

- GOMIDE, J. L.; FANTUZZI NETO, H.; REGAZZI, A. J. Análise de critérios de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose kraft. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 339-344, 2010.
- GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C.; SILVA, C. M. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de Eucalyptus do Brasil. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 129-137, 2005.
- GUIMARÃES JUNIOR, M.; NOVACK, K. M.; BOTARO, V. R. Caracterização anatômica da fibra de bambu (*Bambusa vulgaris*) visando sua utilização em compósitos poliméricos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, v. 11, n. 7, p. 442-456, 2010.
- HAMMETT, A. L.; YOUNGS, R. L.; SUN, X.; SUN, X.; CHANDRA, M. Nonwood fiber as an alternative to wood fiber in China's pulp and paper industry. *Holzforschung*, v. 55, n. 2, p. 219-224, 2001.
- HAN, J. S. Properties of non-wood fibers. In: NORTHAMERICAN NONWOOD FIBER SYMPOSIUM, 1998, Atlanta. *Proceedings* [...]. Atlanta: TAPPI, 1998. p. 3-12.
- IAWA COMMITTEE. IAWA list of microscopic features for hardwood identification, with an appendix on non-anatomical information. *IAWA Bulletin*, Leiden, v. 10, n. 3, p. 219-332, 1989.
- IBÁ – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. *Relatório 2019*. São Paulo: Ibá, 2019.
- JARDIM, J. M.; GOMES, F. J. B.; COLODETTE, J. L.; BRAHIM, B. P. Avaliação da qualidade e desempenho de clones de eucalipto na produção de celulose. *O papel*, São Paulo, ano 78, n. 11, p. 122129, 2017.
- LIU, Z.; WANG, H.; HUI, L. Pulping and papermaking of non-wood fibers. In: KAZI, S. N. (ed.). *Pulp and paper processing*. London: IntechOpen, 2018. p. 3-31.
- MAMAYE, M.; KIFLIE, Z.; FELEKE, S.; YIMAM, A.; JABASINGH, S. A. Valorization of Ethiopian sugarcane bagasse to assess its suitability for pulp and paper production. *Sugar Tech*, New York, v. 21, n. 6, p. 995-1002, 2019.
- MARQUES, G.; RENCORET, J.; GUTIÉRREZ, A.; MARTIN ALFONSO, J. E.; DEL RÍO, J. C. Evaluation of the chemical composition of different non-woody plant fibers used for pulp and paper manufacturing. *The Open Agriculture Journal*, Sharjah, v. 4, p. 93101, 2010.
- MERCY, O. B.; ADEOLA, F. J.; OLAJIDE, O. A.; BABATUNDE, A.; SUNDAY, F. J. Evaluation of fiber characteristics of *Ricinodendron Heudelotii* (Baill, Pierre Ex Pax) for pulp and paper making. *International Journal of Science and Technology*, [London], v. 6, p. 634641, 2017.
- MOKFIENSKI, A. Importância relativa da densidade básica e da constituição química da madeira de *Eucalyptus* spp. no rendimento, branqueabilidade e qualidade da polpa kraft. 2004. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.
- MORAIS, S. A. L.; NASCIMENTO, E. A.; MELO, D. C. Análise da madeira do *Pinus oocarpa* parte II: caracterização estrutural da lignina de madeira moída. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 471-478, 2005.
- NISGOSKI, S. *Espectroscopia no infravermelho próximo no estudo de características da madeira e papel de Pinus taeda L.* 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- NOVO, L. P.; BRAS, J.; BELGACEM, M. N.; CURVELO, A. A. S. Pulp and paper from sugarcane: properties of rind and core fractions. *Journal of renewable materials*, Henderson, v. 6, n. 2, p. 160-168, 2018.
- POPA, V. I. (ed.). *Pulp production and processing: from papermaking to high-tech products*. Shropshire: Smithers Rapra, 2013.
- REDDY, N.; YANG, Y. Structure and properties of high quality natural cellulose fibers from cornstalks. *Polymer*, Amsterdam, v. 46, n. 15, p. 54945500, 2005.
- RIBEIRO GOUVEIA, E.; NASCIMENTO, R. T.; SOUTO-MAIOR, A. M.; ROCHA, G. J. M. Validação de metodologia para a caracterização química de bagaço de cana-de-açúcar. *Química Nova*, São Paulo, v. 32, n. 6, p. 15001503, 2009.
- ROCHA, C. B. R.; POTIGUARA, R. C. V. Morfometria das fibras das folhas de *Astrocaryum murumuru* var. *murumuru* Mart. (ARECACEAE). *Acta Amazonica*, Manaus, v. 37, n. 4, p. 511516, 2007.
- RODRIGUES, B. L. S.; NEVES JUNIOR, A. Análise térmica de pastas a base de cal hidratada com utilização de cinza do bagaço de cana-de-açúcar. *Engineering and Science*, Cuiabá, v. 7, n. 4, p. 39-48, 2018.
- RUSCH, F.; CEOLIN, G. B.; HILLIG, E. Morfologia, densidade e dimensões de fibras de bambu: uma compilação bibliográfica. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 49, p. 1-9, 2019.
- SANTI, T. O potencial do bambu. *O papel: revista mensal de tecnologia em celulose e papel*, São Paulo, ano 76, n. 4, p. 23-34, 2015.
- SHIMOYAMA, V. R. S.; WIECHETECK, M. S. S. Características da madeira e da pasta termomecânica de *Pinus patula* para produção de papel imprensa. *IPEF*, Piracicaba, v. 9, n. 27, p. 63-80, 1993.
- SILVA, M. B.; MORAIS, A. S. Avaliação energética do bagaço de cana em diferentes níveis de umidade e graus de compactação. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28., 2008, Rio de Janeiro. *Anais* [...]. Rio de Janeiro: Enegep, 2008. p. 1-9.
- SINGH, S.; STACK, K. R.; RICHARDSON, D. E.; LEWIS, T. W. Wood extractives recovery from flotation of thermo-mechanical pulp process water. *Appita Journal*, Melbourne, v. 72, n. 3, p. 135-149, 2019.
- TALGATTI, M.; SILVEIRA, A. G.; BALDIN, T.; OLIVEIRA, L. H.; SANTINI, E. J.; PASA, D. L. Caracterização anatômica de clones comerciais de eucalyptus para a produção de papel. *BIOFIX Scientific Journal*, Curitiba, v. 5, n. 1, p. 65-70, 2020.
- TOMAZELLO FILHO, M.; AZZINI, A. Estrutura anatômica, dimensões das fibras e densidade básica de colmos de *Bambusa vulgaris*. *IPEF*, Piracicaba, n. 36, p. 43-50, 1987.
- VALE, A. T.; MOREIRA, A. C. O.; MARTINS, I. S. Avaliação do potencial energético de *Bambusa vulgaris* em função da idade. *Floram*, Seropédica, v. 24, p. 1-9, 2017.

VERVERIS, C.; GEORGHIOU, K.; CHRISTODOULAKIS, N.; SANTAS, P.; SANTAS, R. Fiber dimensions, lignin and cellulose content of various plant materials and their suitability for paper production. *Industrial Crops and Products*, Amsterdam, v. 19, p. 245-254, 2004.

VIEIRA, A. C. *Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas*. 2012. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

WANG, Z.; WINESTRAND, S.; GILLGREN, T; JÖNSSON, L. F. Chemical and structural factors influencing enzymatic saccharification of wood from aspen, birch and spruce. *Biomass and Bioenergy*, Amsterdam, v. 109, p. 125-134, 2018.

WILLE, V. K. D.; PEDRAZI, C.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C.; COLDEBELLA, R.; GIESBRECHT, B. M.; SACCOL, A. F. O. Cellulose pulp produced from bulrush fiber. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 47, n. 5, p. 16, 2017.

---

**Contribuição dos Autores:** Matheus Felipe Freire Pego foi o autor principal do artigo, estando presente em todas as fases de elaboração; Maria Lúcia Bianchi foi a coordenadora e orientadora do projeto; Tais Regina Lima Abreu Veiga participou dos experimentos e da escrita do manuscrito.

**Agradecimentos:** Os autores agradecem o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior (Capes), do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira (UFLA) e ao Grupo Penha Embalagens S/A e Cachaça Bocaina pela doação dos materiais vegetais.

**Fonte de Financiamento:** Capes (código de financiamento 001).

**Conflitos de Interesse:** Os autores declaram não haver conflito de interesse.