

INFLUÊNCIA DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA DE EUCALIPTO NAS DIMENSÕES DOS CAVACOS

Autores: Adriano Rocha Cafrus de Araújo¹, Gilberto José Moreira¹

¹ Celulose Nipo-Brasileira S.A. (Cenibra)

RESUMO

As empresas do setor de celulose e papel buscam maneiras de otimizar seu sistema de produção para atingir um processo produtivo mais eficiente, com menor consumo específico de madeira para produção de polpa de celulose de mercado. É certo que diversos fatores influenciam nos resultados produtivos, dentre eles: características da matéria-prima (madeira), como densidade básica, umidade e também características inerentes ao processo, relacionadas aos equipamentos e às configurações do processo. Entre as várias etapas existentes desde o plantio da madeira até a produção final da polpa celulósica, o processo de preparo de cavacos está diretamente relacionado à tecnologia de polpação. Nas etapas iniciais, a madeira é transformada em cavacos e enviada ao cozimento para receber a primeira dosagem de produtos químicos, onde podem ocorrer perdas relacionadas ao *sub* ou *super* cozimento dos cavacos. Em função disso, o presente trabalho tem como objetivo conhecer a influência da densidade básica da madeira nas dimensões dos cavacos, em especial na espessura, e fomentar novas pesquisas voltadas a ajustes e/ou configuração dos picadores para compensar as variáveis relacionadas à qualidade da madeira. Para tanto, foram realizados testes com 72 amostras de madeira que chegaram a uma empresa de produção de celulose localizada no Leste de Minas Gerais. Entre estas amostras, foram selecionadas quatro amostras de madeira com alta densidade e quatro amostras com baixa densidade, que passaram pelo processo de picagem com o intuito de analisar as dimensões dos cavacos resultantes. Este trabalho permitiu também conhecer a relação entre a densidade básica da madeira de eucalipto e as dimensões dos cavacos.

Palavras-chaves: Densidade Básica. Cavaco. Picagem.

INTRODUÇÃO

Aumentar a eficiência da produção de celulose permeia os objetivos estratégicos das empresas do setor de celulose e papel. Logo, trata-se da busca contínua pela redução dos custos e perdas de processo.

A densidade básica é uma propriedade importante, dada suas relações com outras características da madeira como rendimentos de processos, facilidade de impregnação da madeira, propriedades das celuloses, papéis etc. É uma das variáveis da madeira que mostra maior correlação com a quantidade de celulose produzida pelos digestores no processamento industrial (SOUZA *et al.*, 2002).

A transformação da madeira em cavacos, os quais estão representados na Figura 1, **é a primeira** etapa da produção da polpa celulósica. O objetivo é adequar a dosagem da madeira no digestor e possibilitar uma impregnação mais uniforme dos produtos químicos de cozimento, aumentando a superfície de contato da madeira com o licor (GOMIDE, 2012).

Para a otimização do processo de produção de celulose é de grande importância conhecer as variáveis que afetam este processo, como a qualidade dos cavacos e o efeito deles na operação de cozimento e na qualidade da polpa celulósica resultante (SILVA *et al.*, 2001).



Figura 1. Cavacos
Fonte: Arquivo dos autores

Os equipamentos mais utilizados industrialmente para o processamento das toras de madeira em cavacos são os picadores a disco. Trata-se de um equipamento robusto com necessidade de ajustes precisos para garantia da qualidade dos cavacos. Os picadores de toras a disco possuem um disco rotativo de aço, munido de peças de desgaste e facas (lâminas de corte) distribuídas na área de uma de suas faces (DON, 1989). A produ-

vidade dos picadores depende de variáveis como: diâmetro do disco, número de facas e velocidade.

Segundo Wastowski (2009), as dimensões dos cavacos deverão obedecer a uma distribuição tão estreita quanto possível, de modo a promover um cozimento uniforme e gerar uma polpa homogênea evitando, desta forma, um supercozimento dos menores e um subcozimento dos maiores (dentro dos limites operacionais fixados). A espessura dos cavacos depende das características geométricas de disposição das peças do picador, combinado com as características mecânicas da madeira (Mc LAUCLAN & LAPOINTE, 1979).

O ângulo complementar, demonstrado na Figura 2, é o grande responsável por variações na espessura dos cavacos. O aumento deste ângulo serve para reduzir a energia requerida na picagem, reduzir a espessura do cavaco em relação ao seu comprimento e reduzir os danos por esmagamento dos cavacos (STEFFENS & RODRIGUES, 1988).

A densidade básica e o teor de umidade da madeira são características que apresentam alta correlação com as resistências mecânicas da madeira e contribuem para as variações nas dimensões dos cavacos durante a picagem. Mc Govern (1979) afirma que as variações nas dimensões dos cavacos estão relacionadas com as variações na qualidade da madeira, inclusive entre ou até dentro das toras.

Segundo Don (1989), os principais parâmetros que definem a qualidade dos cavacos são:

- Comprimento dos cavacos: valor médio entre 20 e 25 mm (uniformidade das dimensões é um fator importante).
- Espessura dos cavacos: 4 a 6 mm (mínima quantidade < 2 mm e > 8 mm).
- Finos e cavacos sobre-dimensionados: quantidades reduzidas de finos, sobretamanho e palitos.
- Impurezas: quantidade reduzida de areia, pedras, metais etc.
- Quantidade de cascas: quantidade reduzida.
- Densidade dos cavacos: uniforme.

A espessura é a dimensão dos cavacos mais citada em estudos devido à sua maior importância no processo de impregna-

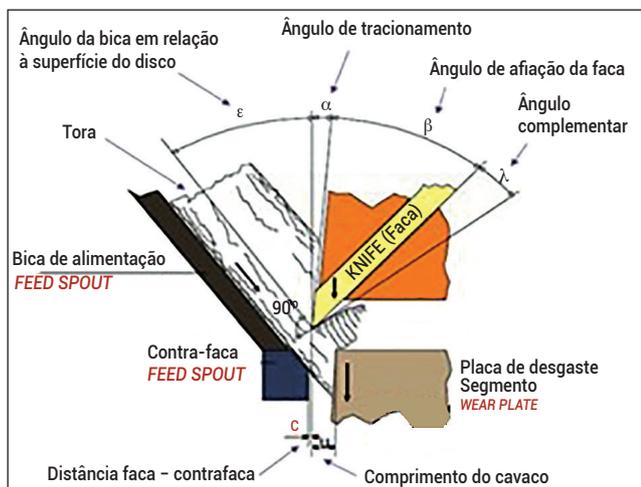


Figura 2. Geometria de corte do picador
 Fonte: Coscia, seminário ABTCP (2008)

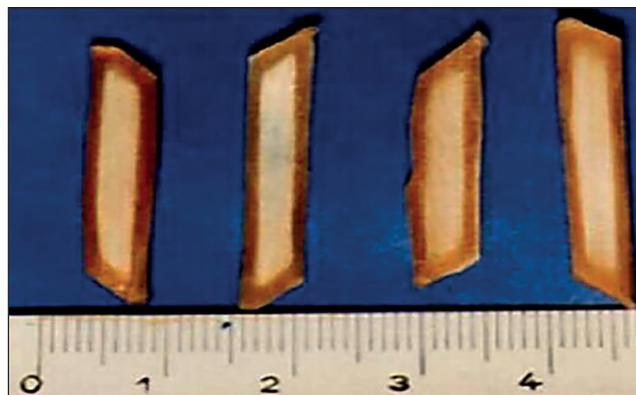


Figura 3. Fase inicial da impregnação dos cavacos
 Fonte: Costa et al. (2004)

ção dos cavacos (COSTA, 2004). A impregnação dos cavacos (Figura 3) pelo licor de cozimento ocorre pelos fenômenos de penetração e de difusão.

Segundo Foelkel (2009), a penetração é mais rápida que a difusão. A difusão em cavacos penetrados pelo licor de cozimento ocorre à baixa velocidade, mas em todas as direções. Na Tabela 1 são apresentadas algumas diferenças entre a impregnação por penetração e por difusão, onde a penetração está relacionada ao comprimento dos cavacos e a difusão relaciona-se à espessura dos cavacos.

Tabela 1: Diferenças na impregnação por penetração e difusão

Penetração	Difusão
Ocorre por meio dos vasos e lumens de fibras, traqueídeos e parênquimas	Ocorre em presença de água
Facilidade em madeira seca	Ótimas em madeira saturada de água
Eficiente em longas distâncias, na direção longitudinal	Eficiente apenas em curtas distâncias
Não é efetiva perpendicularmente à direção das fibras	Efetiva perpendicularmente à direção das fibras
Grandes diferenças entre o cerne e o albúrnio, as espécies folhosas e as coníferas, e o lenho de primavera de verão	Pequenas diferenças entre as diversas madeiras
Pouco sensível à composição do licor	Muito sensível à composição do licor

Fonte: Foelkel (2009)

MÉTODOS

Neste estudo foram utilizadas madeiras de clones híbridos de *Eucalyptus grandis*, com ciclo de sete anos, provenientes das áreas silviculturais de uma empresa de produção de celulose localizada no Leste de Minas Gerais.

Foram selecionadas aleatoriamente 72 toras de madeira de 6,30 m, com tempo pós-corte entre 60 e 90 dias. Cada tora foi seccionada ao meio, compondo uma amostra com duas partes (Figuras 4a e 4b)

e foi retirado um disco transversal de aproximadamente 5 cm de espessura para determinar a sua densidade básica (Figuras 4c e 4d). Todos os discos e toras foram identificados para determinação da densidade.

Para a realização das análises de densidade básica, os discos das 72 amostras de madeira foram enviados ao laboratório da empresa, onde foram seguidas as etapas sequenciais, conforme norma ABNT NBR 11941:2003 – Madeira – Determinação da densidade básica.

Os discos de madeira, após serem cadastrados em planilha eletrônica, foram submersos em recipientes com água para sa-

turação durante um período de oito horas (Figura 5a). Após a saturação, cada disco foi secado com uma flanela (Figura 5b), pendurado em um suporte e submerso em um recipiente cilíndrico de polietileno, posicionado sobre uma balança para verificação da massa após saturação (Figuras 5c).

Após medição do volume, os discos foram secados em estufa com circulação forçada de ar a 105 ± 5 °C durante 40 horas ou até massa constante (Figura 5d).

Depois da secagem, foram pesados e os valores registrados em planilha eletrônica e realizado o cálculo da densidade básica por meio da relação entre a massa seca e o volume saturado, conforme a fórmula abaixo:

$$Db = \frac{PS}{V} * 1000$$

Em que:

D_b = Densidade básica em Kg/m³

PS = Peso seco (massa seca) em Kg

V = Volume deslocado em m³



Figura 4. Separação e identificação das amostras

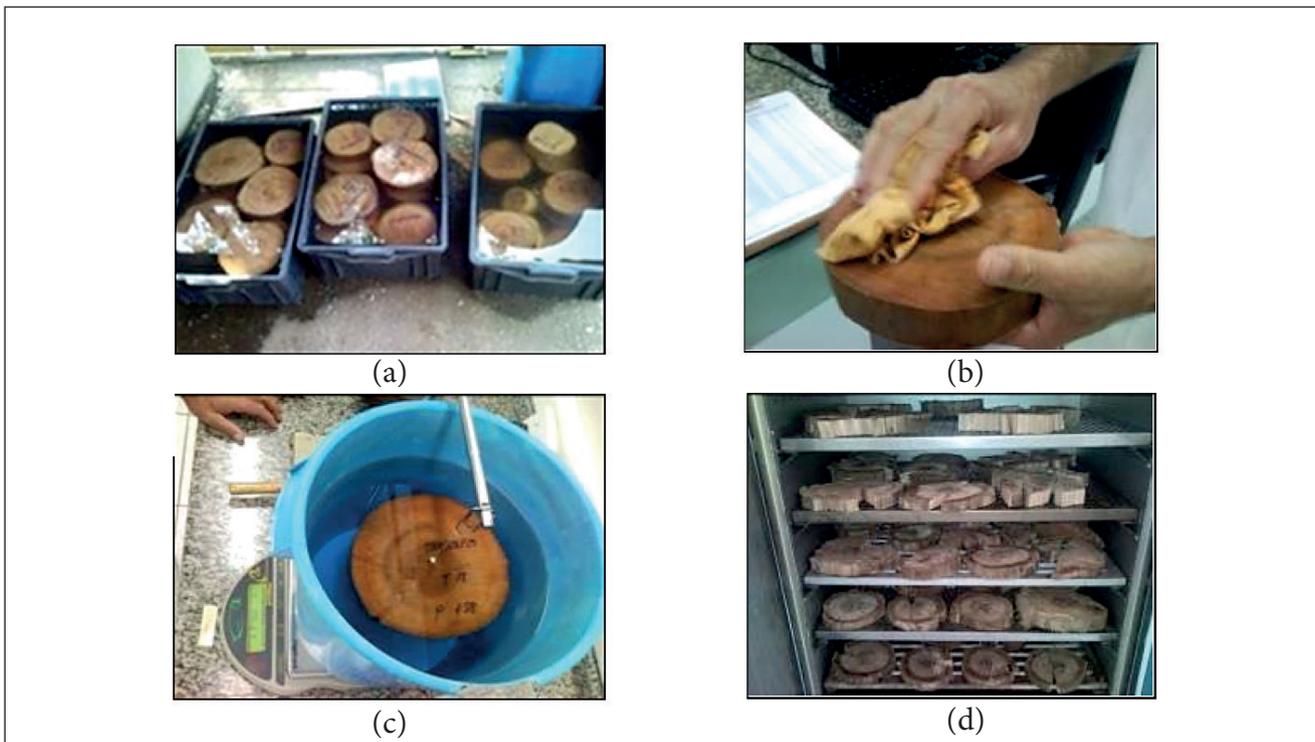


Figura 5. Etapas de determinação da densidade básica

Tabela 2. Densidade básica das amostras selecionadas

Amostra	Amostras de baixa DB (kg/m³)	Amostras de alta DB (kg/m³)
1	392,41	531,31
2	396,28	570,96
3	401,84	571,79
4	403,70	573,10
Média	398,56	561,79

Fonte: Arquivo dos autores

Cada amostra – das oito selecionadas – **om** foi picada em um picador a disco da unidade fabril da empresa de celulose e foram coletados, aproximadamente, 20 litros de cavacos (Figura 6).

Para obter o mesmo padrão de picagem e não haver interferência significativa de variação na formação dos cavacos, para



Figura 6. Coleta dos cavacos das amostras

Fonte: Arquivos dos autores

todas as amostras foi utilizado o mesmo picador e com os mesmos ajustes.

Foi utilizado um picador de disco com a seguinte especificação:

- Modelo: Heavy Duty.
- Fabricante: Carthage.
- Diâmetro do disco: 96 polegadas.
- Capacidade de picagem: 90 t/h.
- Potência do motor: 1500 cv.
- Rotação do motor: 1186 rpm.
- Sistema de alimentação: por gravidade.
- Ângulo de alimentação: 38°.
- N.º facas: 15.
- Sistema de descarga: por gravidade.
- Rotação do disco: 400 rpm.

Os cavacos de cada amostra foram classificados num classificador modelo CHIP CLASS (TMI), que é um equipamento oscilatório que realiza a classificação por meio de peneiras com furos e peneiras com barras combinando a classificação em comprimento e espessura.

Na Tabela 3 pode ser visualizada a distribuição das peneiras no classificador.

Tabela 3. Distribuição das peneiras no classificador

Modalidade de Classificação	Tipo de peneira	Dimensão classificada
Comprimento	Furos	45 mm
Espessura	Barras	10 mm
		8 mm
		6 mm
		4 mm
Comprimento	Furos	3 mm
Finos	Bandeja do fundo	Finos

Fonte: Arquivo dos autores

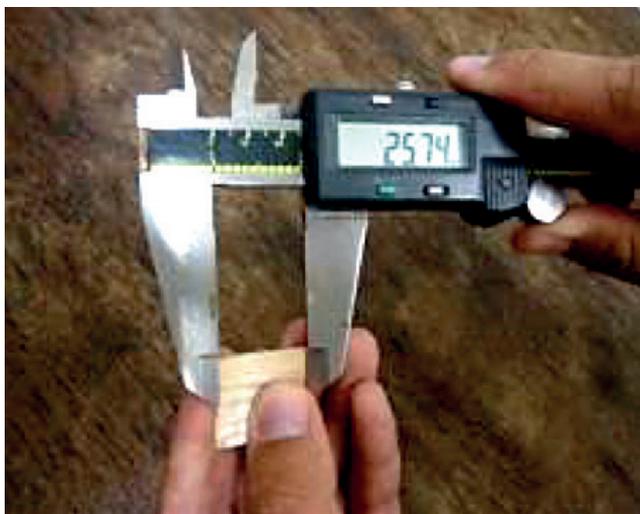


Figura 7. Verificação do comprimento e da espessura dos cavacos
Fonte: Arquivo dos autores

Os cavacos de cada amostra foram homogeneizados em um recipiente adequado e, em seguida, pesados aproximadamente 2 kg para a classificação no classificador CHIP CLASS (TMI). Foram removidas manualmente as cascas, nós, pontas de toras e lascas. O restante foi classificado no classificador por 40 mi-

nutos. Em seguida, foi obtido as frações retidas nas peneiras de 45 mm, 10 mm, 8 mm, 6 mm, 4 mm, 3 mm e fundo (finos). Os valores dos pesos das frações removidas manualmente e das frações obtidas das peneiras foram registrados em planilha eletrônica para o cálculo percentual.

Das peneiras de barras que classificam por espessura e retêm os cavacos considerados aceite, foram retirados, aleatoriamente, 10% dos cavacos, que resultou em 747 cavacos das amostras de baixa densidade básica e 552 cavacos das amostras de alta densidade básica. Com um paquímetro digital foi verificado o comprimento e a espessura de cada cavaco (Figura 7) e registrado os valores em uma planilha eletrônica para o tratamento estatístico.

Não foi verificada a largura dos cavacos por não ser uma dimensão com o mesmo grau de importância da espessura e do comprimento, além do que as variações de medidas desta dimensão são fortemente influenciadas pelo tipo de descarga do picador.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 4 e na Figura 8 pode ser visualizado os resultados da classificação das amostras feitas no classificador modelo CHIP CLASS (TMI).

Tabela 4: Resultado da classificação dos cavacos (valores percentuais)

Amostras	Densidade Básica da Madeira (kg/m ³)	Lascas	Peneiras e Bandeja do Fundo do Classificador Chip Class							Pontas de Toras	Nós
			45 mm	10 mm	8 mm	6 mm	4 mm	3 mm	Finos		
1	392,41	1,03	1,30	5,84	12,86	30,70	25,74	9,55	0,47	3,12	9,40
2	396,28	0,50	1,02	6,15	13,90	28,92	19,08	8,29	0,52	10,52	11,10
3	401,84	1,00	1,51	4,43	11,35	31,68	26,58	9,40	0,37	5,97	7,71
4	403,70	0,00	0,19	3,74	11,33	38,96	26,14	9,78	0,58	1,48	7,79
Média amostras de baixa DB	398,56	0,63	1,01	5,04	12,36	32,57	24,39	9,26	0,49	5,27	9,00
1	531,31	0,95	0,03	6,57	13,81	40,45	23,97	8,44	0,27	2,43	3,10
2	570,96	0,07	1,33	7,53	15,40	33,57	25,87	11,93	0,28	1,01	2,99
3	571,79	0,69	5,27	7,54	13,91	34,32	22,75	8,61	0,15	1,50	5,27
4	573,10	0,25	1,10	6,76	16,63	27,93	29,34	11,46	0,05	1,16	5,15
Média amostras de alta DB	561,79	0,49	1,93	7,10	14,94	34,07	25,48	10,11	0,19	1,53	4,13

Fonte: Arquivo dos autores

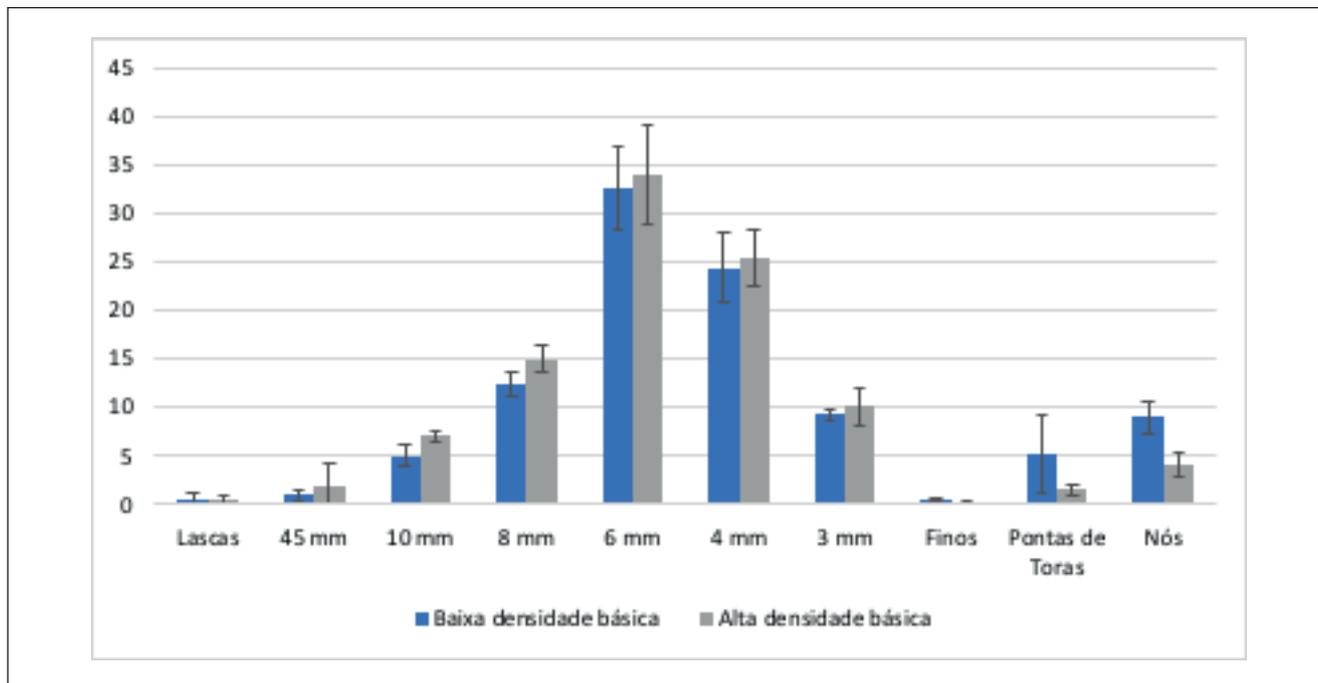


Figura 8. Resultado da classificação dos cavacos

Fonte: Arquivo dos autores

Nota-se que a média percentual dos cavacos de alta densidade básica retidos nas peneiras de maiores dimensões: 45 mm, 10 mm, e 8 mm foram, respectivamente, 91%, 41% e 21% acima da média percentual dos cavacos de baixa densidade básica retidos nestas peneiras. Nota-se, também, que a média percentual das pontas de toras e dos nós das amostras de baixa densidade básica são bem superiores que a média percentual das pontas de toras e dos nós das amostras de alta densidade básica: 244% e 118%, respectivamente. No caso das pontas de toras pressupõe-se que possa ter sido influenciada por uma instabilidade maior da madeira de menor densidade básica no momento inicial e final da picagem,

uma vez que são geradas no início e no final da picagem das toras e que podem ser aumentadas pela instabilidade da madeira que ocorre principalmente nestes momentos. Quanto ao maior percentual de nós na madeira de baixa densidade básica pode estar relacionada ao material genético e a uma desrama natural inferior nas árvores destas amostras.

Com os resultados das medidas de comprimento e de espessura foi evidenciado que não há correlação entre as variáveis.

O resultado do desvio padrão, do coeficiente de variação e dos limites superiores e inferiores dos cavacos das amostras de baixa densidade básica e das amostras de alta densidade básica, são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Dimensões de cavacos de baixa e de alta densidade básica

AMOSTRAS	DIMENSÃO	MÉDIA	DESvio PADRÃO	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)	MÁXIMO	MÍNIMO
Cavacos de baixa densidade básica	Comprimento (mm)	27,38	5,59	20,43	44,55	7,60
	Espessura (mm)	3,94	1,51	38,33	12,5	1,03
Cavacos de alta densidade básica	Comprimento (mm)	27,21	4,74	17,41	44,58	10,00
	Espessura (mm)	4,37	1,59	36,45	9,83	1,51

Fonte: Arquivo dos autores

Na Tabela 7 e na Figura 9 podem ser observados os resultados da classificação dos cavacos por comprimento. Os cavacos foram separados em classes com amplitude de 5,00 mm, sendo que os valores abaixo de 15,00 mm e os valores iguais ou acima de 35,00 mm foram agrupados em uma classe cada, devido aos baixos percentuais destes.

As classes IV e V, que contém o maior percentual de cavacos das amostras, sendo 66,86% dos cavacos da madeira de

baixa densidade básica e 77,20% dos cavacos da madeira de alta densidade básica, demonstram que as amostras de madeira de alta densidade básica proporcionaram cavacos com maior comprimento em relação aos cavacos das amostras de baixa densidade básica.

Na Classe VI houve uma inversão, ou seja, a madeira de baixa densidade básica gerou maior índice de cavacos que a madeira de alta densidade básica. Este fato isolado pode ter sido

Tabela 7. Porcentagem de cavacos por classes de comprimento

Amostras	DB da madeira (Kg/m ³)	CLASSES DE COMPRIMENTO DOS CAVACOS					
		I (<15,00 mm)	II (15 mm)	III (20 mm)	IV (25 mm)	V (30 mm)	VI (>=35 mm)
Baixa densidade básica	392,41	2,25	1,69	12,36	48,31	27,53	7,87
	396,28	4,43	11,39	26,58	45,57	9,49	2,53
	401,84	4,92	5,46	13,66	36,07	28,42	11,48
	403,70	3,49	4,80	13,97	42,36	29,69	5,68
Média - amostras de baixa DB	398,56	3,77	5,84	16,64	43,08	23,78	6,89
Alta densidade básica	531,31	9,39	11,05	33,15	44,75	1,10	0,55
	570,96	0,00	0,00	2,52	63,87	31,09	2,52
	571,79	0,81	0,00	12,90	36,29	39,52	10,48
	573,10	0,78	1,56	4,69	67,19	25,00	0,78
Média - amostras de alta DB	561,79	2,75	3,15	13,32	53,03	24,18	3,58

Fonte: Arquivo dos autores

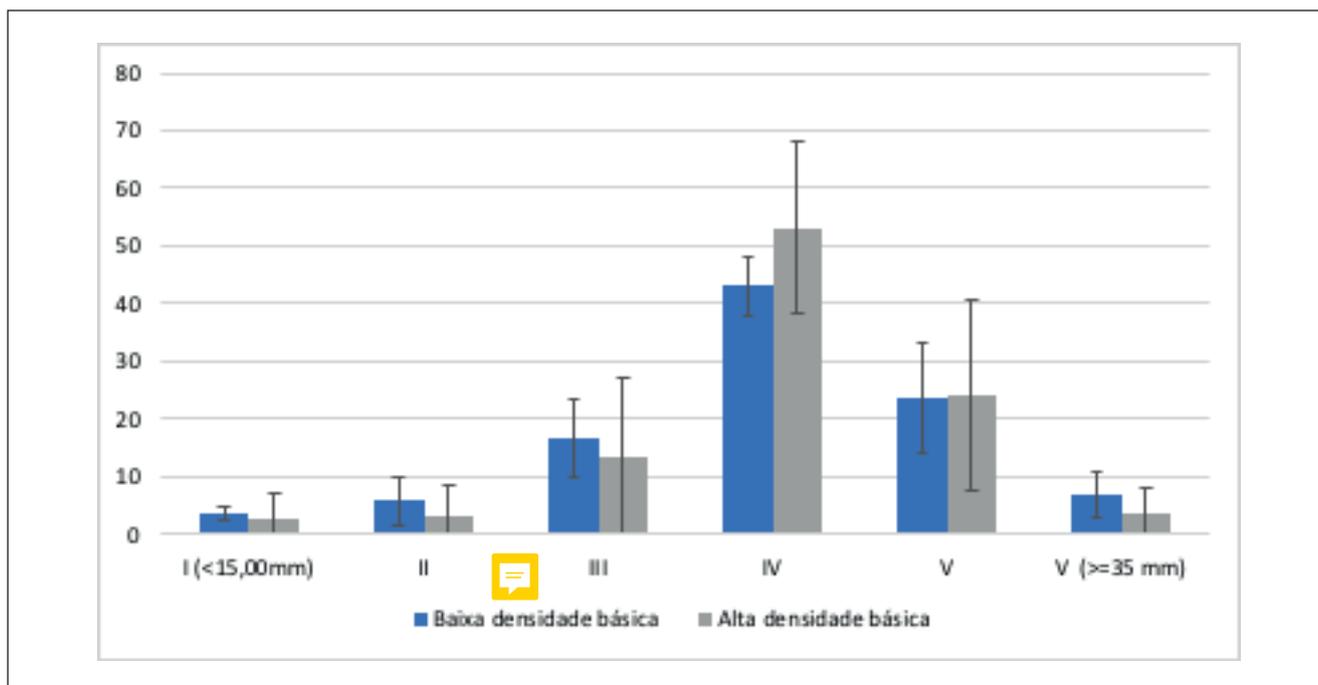


Figura 9: Porcentagem de cavacos por classes de comprimento

Fonte: Arquivo dos autores

influenciado por uma maior instabilidade da madeira no momento inicial e final do corte e pelo alto índice de nós na madeira de baixa densidade básica.

Na Tabela 8 e na Figura 10 podem ser observados os resultados da classificação dos cavacos por espessura. Os cavacos

foram separados em classes com amplitude de 2,00 mm, sendo que os valores abaixo de 2,00 mm e os valores iguais ou acima de 8,00 mm, que apresentaram baixos índices percentuais, foram agrupados em uma classe cada, por serem valores que afetam drasticamente a qualidade do processo de polpação Kraft.

Tabela 8: Porcentagem de cavacos por classes de espessura

Amostras	DB da madeira (Kg/m ³)	CLASSES DE ESPESSURA DOS CAVACOS				
		I (<2,00 mm)	II (2 mm)	III (4 mm)	IV (6 mm)	V (>=8 mm)
Baixa densidade básica	392,41	3,37	56,18	28,09	11,24	1,12
	396,28	5,06	40,50	44,94	7,60	1,89
	401,84	3,28	53,55	31,70	10,38	1,10
	403,70	5,68	54,15	31,88	6,55	1,75
Média -amostras de baixa DB	398,56	4,35	51,10	34,15	8,94	1,47
Alta densidade básica	531,31	5,00	42,00	37,00	12,70	0,00
	570,96	0,00	42,02	41,18	14,28	0,00
	571,79	0,00	43,55	42,74	9,68	0,00
	573,10	0,78	40,63	42,18	14,84	0,00
Média -amostras de alta DB	561,79	1,45	42,05	40,78	12,88	0,00

Fonte: Arquivo dos autores

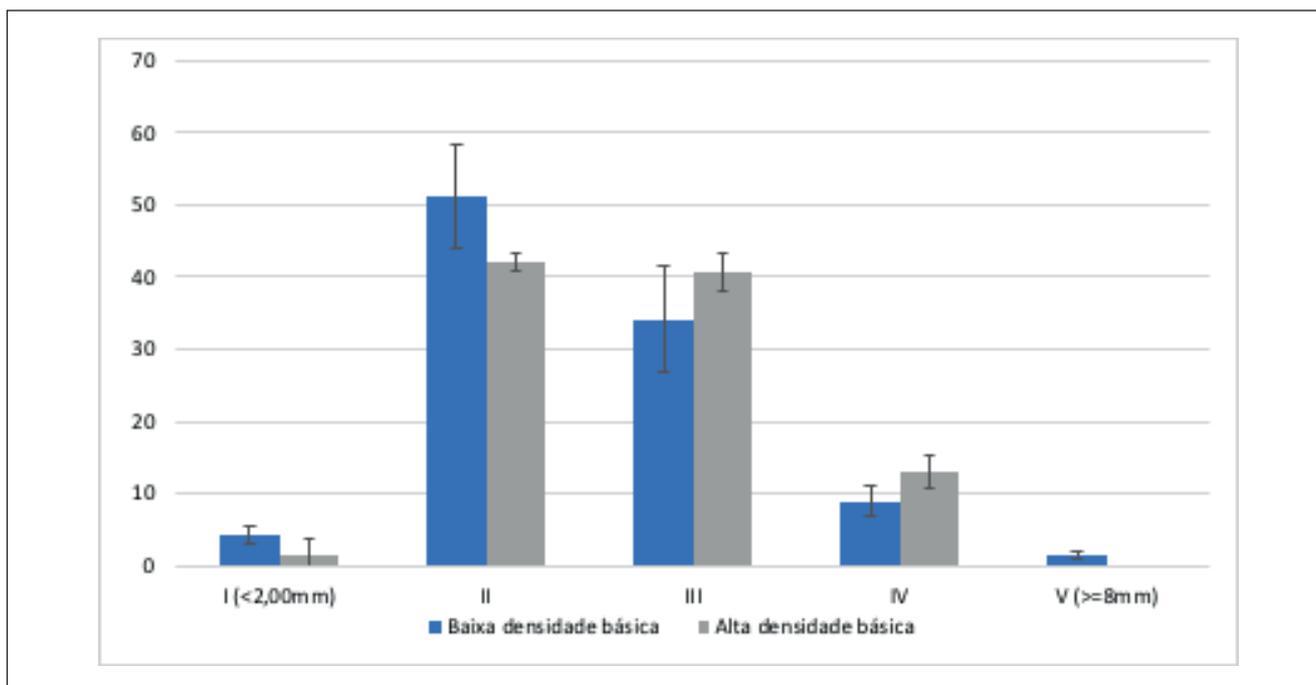


Figura 10. Porcentagem de cavacos por classes de espessura

Fonte: Arquivo dos autores

As classes III, IV e V, que contêm cavacos com maior espessura (≥ 4 mm), obtiveram 20,42% a mais dos cavacos da madeira de alta densidade básica em relação aos cavacos da madeira de baixa densidade básica. Analisando apenas a Classe IV (6 a 7,99 mm), esta diferença foi de 44,07%. Em relação à Classe V (≥ 8 mm), não foi obtido cavacos nesta dimensão nas amostras de alta densidade básica enquanto que nas amostras de baixa densidade básica houve um percentual de 1,47%.

CONCLUSÕES

Com o estudo pode-se concluir que a densidade básica da madeira de eucalipto afeta as dimensões dos cavacos, como a espessura e o comprimento. As madeiras com densidades básicas mais elevadas originaram cavacos maiores tanto em espessura quanto em comprimento.

A influência da densidade básica dos cavacos nas diferentes classes de tamanho foi determinante no resultado do experimento. Apesar da metodologia elaborada para redução da variabilidade da densidade básica dos cavacos, classificados pela empresa estudada, ficou evidente que as variações nas dimensões médias dos cavacos ocorreram devido às características intrínsecas da madeira, difíceis de serem controladas, e que a homogeneidade da densidade básica da madeira abastecida nos picadores pode melhorar a uniformidade das dimensões dos cavacos.

Assim, ficou perceptível, por meio deste trabalho, que o tema referente às dimensões dos cavacos no processo de produção de celulose é extenso e merece abordagens futuras, com o estudo de outras variáveis que afetam a uniformidade dos cavacos, como, por exemplo, influencia a geometria de corte e o ajuste do picador em compensação às varáveis da madeira. ■

REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Madeira – Determinação da densidade básica**. Norma Brasileira ABNT NBR 11941:2003.
- COSTA, M. M.; GOMIDE, J. L.; ZANUTTINI, M.; SOUZA, E.; BRUM NETO, M. **Estudos sobre a impregnação de cavacos de Eucalyptus spp.** 37.º Congresso Anual da ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. São Paulo-SP, 2004. Apresentação em PowerPoint: 45 slides.
- DON, J. J. V. Cavacos de boa qualidade – O resultado de uma adequada técnica de picagem e peneiramento. **Congresso Anual da ABTCP**, São Paulo-SP, 22, p. 57-77, 1989.
- FOELKEL, C. E. B. O processo de impregnação dos cavacos de madeira de eucalipto pelo licor Kraft de cozimento. Grau Celsius, 2009. Disponível em: http://www.eucalyptus.com.br/eucalyptos/PT15_ImpregnaçãoCavacos.pdf. Acesso em: 24 abr. 2020.
- GOMIDE, J. L. **Tecnologia e química de produção de celulose**. Arquivos de Aula do Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Tecnologia de Celulose e Papel da Universidade Federal de Viçosa. Apresentação em PowerPoint: 279 slides (2012). Viçosa-MG, 2012.
- Mc GOVERN, Y. N. Raw material variables in chip production. In: HATTON, J. V. **Chip quality monograph**. Vancouver, Tappi – pulp and paper technology series, 1979. Cap. 5, p. 91-110.
- Mc LAUCHLAN, T. A. & LAPOINTE, J. A. Production of chips by disk chipers. In: HATTON, J. V. **Chip quality monograph**. Vancouver, Tappi – pulp and paper technology series, 1979. Cap. 2, p. 15-32.
- SILVA, J. C. *et al.*, Importância do eucalipto para a indústria de celulose no Brasil, *Revista de Madeira*, Curitiba-PR, set. 2001. p. 90-92. Suplemento especial.
- SOUZA, M. C. H.; REIS, E. R.; SERAFIM, K. P.; PEDRAZZI, C.; FRIZZO, S. M. B.; OLIVEIRA, P.; FOELKEL, C. B. Variação da densidade a granel de cavacos de *Eucalyptus saligna* em função das suas dimensões e da umidade, In: **Congresso Internacional de Celulose e Papel**, 35, São Paulo-SP, p. 1-7, 2002.
- STEFFENS, C. F.; RODRIGUES, A. C. Optimization of radiate pine chip geometry for Kraft cooking process. **Congresso Anual da ABTCP**. São Paulo-SP, 21, p. 57-62, 1988.
- WASTOWSKI, A. D. Química da madeira – Celulose e papel. Santa Maria, 2009. Disponível em: <file:///D:/CNB/ESPECIALIZA%C3%87%C3%83O%20CELULOSE%20&%20PAPEL/APRESENTA%C3%87%C3%83O/Warstoswiki%202009%20qu%C3%ADmica%20da%20madeira.htm>. Acesso em: 24 abr. 2020.