

ALTERAÇÕES NA ESTRUTURA ANATÔMICA DA MADEIRA DE CAVACOS DE *Eucalyptus grandis* EM TRÊS CONDIÇÕES DE DESFIBRAMENTO PARA A CONFECÇÃO DE PAINÉIS MDF¹

Ugo Leandro Belini², Mario Tomazello Filho³, Matheus Perez Chagas² e José Tarcísio da Silva Oliveira⁴

RESUMO – A utilização da madeira de eucalipto na confecção de painéis MDF é recente, tornando-se necessário entender as modificações em sua estrutura anatômica durante as etapas do processo industrial, notadamente no desfibramento dos cavacos. Com esse objetivo, neste estudo foram aplicadas três condições diferenciadas de desfibramento dos cavacos, alterando-se (i) o tempo de aquecimento, (ii) as pressões de digestão e de desfibramento e (iii) a energia específica de desfibramento, sendo avaliadas as características anatômicas dos componentes celulares da madeira. O aumento da intensidade de refino dos cavacos de madeira reduziu o comprimento médio das fibras e aumentou o porcentual de fibras quebradas, corroborando as imagens de microscopia eletrônica de varredura, além da diminuição do número dos vasos e de células de parênquima. Essa condição de desfibramento mais intensa promoveu, também, um característico escurecimento da coloração da polpa composta pelos elementos celulares da madeira. A aplicação de variáveis de desfibramento mais brandas aumentou a presença de feixes de fibras e do número de vasos e de parênquima, resultando em uma polpa de coloração mais clara. As alterações das características morfológicas dos componentes celulares da madeira dos cavacos de eucalipto, após o tratamento de desfibramento, relacionaram-se com as etapas do processo operacional e com a qualidade tecnológica dos painéis de fibras MDF.

Palavras-chave: Anatomia da madeira, *Eucalyptus grandis*, cavacos, desfibramento e painel MDF.

CHANGES IN THE ANATOMICAL STRUCTURE OF *Eucalyptus grandis* WOOD CHIPS IN THREE CONDITIONS OF WOOD CHIP REFINING FOR PRODUCTION OF MDF PANEL

ABSTRACT – The use of eucalyptus wood for production of MDF panels is recent, becoming necessary to understand the changes in the anatomical structure during the stages of industrial processing, especially during wood chip refining. With this aim, in the present work three different conditions of wood chip refining were applied (i) chip heating time, (ii) digestion and refining pressures and (iii) the specific refining energy, and the anatomical characteristics of wood cell components were evaluated. Increase in the intensity of wood chip refining reduced the fiber mean length and increased the percentage of broken fibers. This corroborated with the images of scanning electronic microscopy, besides decreasing the number of vessel elements and parenchyma cells. The more intense refining condition promoted a characteristic darkening of the pulp composed by the wood cell elements. The application of lighter refining variables increased the frequency of fiber bundles, number of vessels and parenchyma, resulting in pulp with clearer coloration. The morphological changes in cell components of eucalyptus wood chips caused by the refining treatment were related with the stages of the operational process and the technological quality of MDF fiberboard.

Keywords: Wood anatomy, *Eucalyptus grandis*, refining, chip, fiberboard and MDF panel.

¹ Recebido em 12.04.2007 e aceito para publicação em 19.05.2008.

² Programa de Pós-Graduação em Recursos Florestais da ESALQ/USP. E-mail: <ulbelini@esalq.usp.br> e <mpchagas@esalq.usp.br>.

³ Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP. E-mail: <mtomazel@esalq.usp.br>.

⁴ Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). E-mail: <jtsilva@npd.ufes.br>.

1. INTRODUÇÃO

A utilização da madeira de *Eucalyptus* spp. na produção de painéis MDF (*Medium Density Fiberboard*) é recente no Brasil, a partir de 2003, apresentando vantagens em relação à de *Pinus* spp., como (i) menor ciclo de rotação das plantações; (ii) possibilidade de utilização das toras com a casca na conversão madeira-cavacos; e (iii) fibras de menor comprimento, proporcionando melhor qualidade das chapas após a sua usinagem, para uma mesma energia de desfibramento (BELINI, 2007).

Na produção dos painéis MDF, os cavacos de madeira passam pela pré-vaporização e aquecimento em coluna pressurizada em condições controladas de pressão e de tempo de permanência para que, de acordo com Basile e Musselman (1985), atinjam altas temperaturas, cerca de 160-180 °C, na etapa de refinação. Nessas condições, a lignina passa do estado vítreo para o plástico, denominada temperatura de transição vítrea, possibilitando a separação das fibras na região da lamela média (KELLEY et al., 1987; BERRADA, 1991). A dimensão das fibras é influenciada pela intensidade de refino dos cavacos no processo de confecção de painéis MDF, sendo normalmente a fração do material desfibrado denominada “finos” aumentada com o acréscimo na demanda energética (RODARMEI, 1995).

A pressão de refinação dos cavacos de madeira afeta as características das fibras e dos painéis MDF, sendo, de acordo Groom et al. (2004), em baixa pressão as fibras refinadas de coloração mais clara e com maior número de fibras agrupadas; em alta pressão, as fibras são mais escuras e com aumento na fração de fibras finas. Esses autores mostraram, através da microscopia eletrônica, que a refinação em alta pressão resultou em fragmentação da parede das fibras e predominância de frações finas.

Pranda (1995) e Xing et al. (2004) indicaram que as fibras e traqueídes de *Eucalyptus globulus* e de *Pinus pinaster*, depois do desfibramento dos cavacos de madeira, conferem características tecnológicas distintas aos painéis MDF, considerando as diferenças na área superficial desses elementos anatômicos, em relação ao seu recobrimento com resina, afetando as propriedades dos painéis.

A madeira de *Eucalyptus grandis*, conforme mencionado, tem sido utilizada nos últimos quatro

anos no Brasil, para a confecção de painéis MDF, sendo necessários estudos para a avaliação do efeito das variáveis do processo na sua estrutura celular. Dessa forma, este trabalho teve como objetivos a caracterização das alterações induzidas nos componentes anatômicos dos cavacos de madeira de *E. grandis* submetidos a três condições diferenciadas de desfibramento, para a produção de painéis de fibras MDF.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Características da madeira utilizada

Foi utilizada a madeira de árvores de plantações de *E. grandis* com 6,9 anos de idade, em 1ª rotação, no espaçamento de 3,0 x 1,5 m e localizadas nos Municípios de Botucatu e de Lençóis Paulista, SP. As árvores são oriundas de material genético seminal proveniente de pomar de sementes clonal e, após o seu corte, as toras com comprimento médio de 6,0 m foram transportadas para o pátio da planta de fabricação de painéis MDF da empresa Duratex S.A., localizada em Botucatu, SP, para o seu processamento em cavacos e, na seqüência, a aplicação de tratamentos de desfibramento.

2.2. Condições de desfibramento dos cavacos de madeira

As três condições de desfibramento dos cavacos de madeira de *E. grandis* representam o parâmetro intermediário (condição A), menos crítico (condição B) e mais crítico (condição C) de intensidade de desfibramento e refinação dos elementos celulares. Na condição mais crítica de desfibramento (C), aplicou-se maior tempo de aquecimento dos cavacos (5 min), maiores pressões de desfibramento (9,0 bar) e na caixa de discos (9,2 bar), e maior energia específica de desfibramento (110 kwh/t). As condições de desfibramento intermediária e menos crítica, indicadas como A e B, respectivamente, estão descritas no Quadro 1. A energia de desfibramento é função da distância entre os dois discos desfibradores, ressaltando-se que, quanto maior a energia aplicada, maior a proximidade entre os discos. Cada condição de desfibramento foi aplicada por um período de 90 min em linha de produção de painéis MDF, mantendo-se inalteradas as demais condições do processo, como a velocidade da linha e a dosagem dos aditivos.

Quadro 1 – Variáveis de desfibramento de cavacos de *E. grandis* para a produção de painéis MDF

Table 1 – Refining variables of *E. grandis* wood chips for MDF panel production

Condições de desfibramento	TPA (min)	P. desf. (bar)	P. cx. disco (bar)	Energia Desf. (kwh/t)
A	4,0	8,0	8,2	100
B	3,0	7,0	7,2	90
C	5,0	9,0	9,2	110

TPA = tempo de pré-aquecimento (min), P. desf. = pressão de desfibramento (bar), P. cx. Disco = pressão na caixa de discos, Energia Desf. = energia específica de desfibramento (kwh/t).

2.3. Coleta do material desfibrado dos cavacos de madeira

As amostras do material desfibrado foram coletadas na esteira de formação do colchão de forma aleatória e no sentido do fluxo de produção, após as etapas de encolagem, secagem e de classificação do material desfibrado. Em face da homogeneidade do material, para cada condição de desfibramento dos cavacos de madeira foram coletadas seis subamostras de 300 g de material desfibrado, em intervalos de 15 min, em um período de 90 min., compreendendo 1,8 kg de material desfibrado/condição de desfibramento. Nas análises subsequentes, as subamostras de material desfibrado foram acondicionadas em embalagens plásticas hermeticamente fechadas, identificando-se as condições de desfibramento e o número da subamostra (BELINI, 2007).

2.4. Avaliação dos componentes celulares após o desfibramento dos cavacos

2.4.1. Metodologia para a análise e classificação dos componentes celulares

de cada uma das seis subamostras das três condições de desfibramento foram retirados 10 g de material desfibrado, para a classificação morfológica dos componentes celulares via úmida, em equipamento Bauer McNett modelo 203C (TAPPI, 1975). As subamostras de material desfibrado foram suspensas em água e adicionadas no sistema de circulação de água do equipamento Bauer McNett, constituído por cinco peneiras de diferentes aberturas de malha (20; 35; 65; 150; >150 mesh; 1 mesh: no de malhas/pol²). Posteriormente, a massa seca dos componentes celulares, retida em cada peneira, foi determinada pela secagem

em estufa ($103 \pm 3^\circ \text{C}$) e calculado o percentual de retenção/peneira. Nas análises estatísticas, foi utilizado o programa SAS (SAS Institute Inc, 1997), e os dados foram analisados considerando-se o delineamento inteiramente aleatorizado. Foi utilizada a análise de variância (ANOVA) para verificar o efeito das diferentes morfologias das fibras e peneiras, e, quando detectado o efeito significativo, aplicou-se o teste de Tukey a 95% de probabilidade para a comparação entre as médias dos tratamentos.

2.4.2. Análise dos aspectos visuais dos componentes celulares

As amostras dos componentes celulares dos cavacos de madeira, após a aplicação das diferentes condições de desfibramento, foram analisadas sob microscópio estereoscópico Olympus SZX 12 (ampliação 35x). Foram aferidas, por comparação, as diferenças na morfologia (grosseira, média e fina, em função das dimensões e da presença de feixes de fibras) e da coloração (clara, de tonalidade marrom-clara, comum à madeira de *E. grandis* e escura, de coloração marrom-escura) dos componentes celulares da madeira (BELINI, 2007).

2.4.3. Caracterização microscópica dos componentes celulares

Amostras de componentes celulares do lenho retidas nas peneiras de 20-35-65-150 mesh do equipamento Bauer McNett foram coletadas e acondicionadas em frascos plásticos com solução de 80 ml de água + 1 mL de formol (a 37%), sendo hermeticamente fechados para conservação do material (BELINI, 2007). Em cada uma das quatro peneiras foram coletadas três amostras de material fibroso, das três condições de desfibramento, totalizando 36 amostras para a caracterização microscópica dos componentes celulares. As células do lenho em suspensão foram adicionadas em lâminas histológicas com corante safranina 50% em solução alcoólica e glicerina e examinadas sob microscopia de luz (JOHANSEN, 1940). Foram coletadas 100 imagens dos elementos celulares/lâmina/condição de desfibramento, através de câmera digital e mensuradas as suas dimensões (comprimento, largura, espessura da parede, diâmetro do lume), de acordo com as normas da IAWA Committee (1989). Para o comprimento, foram mensuradas 396 fibras (99 fibras/peneira/repetição) para cada condição de desfibramento (total de 1188 fibras); para a largura, espessura da parede e diâmetro do lume das fibras,

foram mensuradas 300 fibras (75 fibras/peneira/repetição) para cada condição de desfibramento (total de 900 fibras) de acordo com o preconizado por Eckblad (1991). Nas lâminas histológicas foram analisados outros parâmetros anatômicos, através da contagem do número de feixes de fibras, de fibras quebradas, elementos de vaso e de parênquima presentes nas peneiras de diferentes aberturas transformadas, posteriormente, em dados percentuais, para a avaliação do efeito das condições de desfibramento dos cavacos de madeira.

Para as análises estatísticas, foi utilizado o programa SAS (SAS Institute Inc, 1997), e os dados foram analisados considerando-se o delineamento inteiramente aleatorizado. Foi utilizada a análise de variância (ANOVA) para verificar o efeito das diferentes condições de desfibramento nas características anatômicas dos componentes celulares e, quando detectado o efeito significativo, aplicou-se o teste de Tukey a 95% de probabilidade, para a comparação das médias dos tratamentos.

2.4.4. Exame dos componentes celulares em microscopia eletrônica de varredura

Amostras do material desfibrado, das três diferentes condições de desfibramento, foram dispostas sobre suportes metálicos, procedendo-se à metalização para que os elétrons incidentes não fossem absorvidos pelo material (KITAJIMA e LEITE, 1999). Em seguida, o suporte foi introduzido em câmara de espécime sob vácuo para a coleta de imagens em microscópio eletrônico de varredura Zeiss, modelo DSM 940 A,

do Núcleo de Apoio à Pesquisa em Microscopia Eletrônica da ESALQ/USP.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Classificação dos componentes celulares

A análise e classificação dos componentes celulares foram expressas em porcentagem de retenção nas quatro peneiras do equipamento Bauer MacNett, nas três condições de desfibramento, e indicam a existência de diferenças significativas entre as médias dos tratamentos, de acordo com o Quadro 2. Os valores percentuais de retenção foram resultantes das diferenças no comprimento médio das fibras, e na condição de desfibramento B (menos agressiva aos elementos celulares da madeira) foram de 46,6% na peneira de 20 mesh (maior abertura das malhas), diferenciando-se estatisticamente das demais condições e indicando a menor intensidade de ruptura da parede das fibras e da formação de feixes de fibras. No entanto, na condição de desfibramento C (mais agressiva aos elementos celulares da madeira) a retenção foi de 31,1 e 14,7% nas peneiras de 65 (abertura média das malhas) e 150 mesh (retenção de material fino), respectivamente, com diferenças estatísticas e indicativas de maior ruptura transversal da parede das fibras, originando fibras quebradas, de menor comprimento. A condição C apresentou valores de retenção próximos aos obtidos por Benaduce (1998) para os componentes celulares de *E. grandis*, com a mesma pressão e tempo de aquecimento.

Quadro 2 – Porcentagem de retenção de fibras da madeira de *E. grandis* submetidos a três diferentes tratamentos de desfibramento, em quatro diferentes peneiras

Table 2 – Percentage of fiber retention of *E. grandis* chips subjected to three different refining conditions in four different sieves

Condição de desfibramento	Abertura de peneira (mesh) / % retenção de fibras				
	20	35	65	150	> 150
A	24,9 a (25,8-23,9)	24,2 a (24,7-23,4)	27,6 a (28,5-26,9)	12,1 a (13,2-10,4)	11,3 ab (13,7-8,8)
	(0,81) (3,3)	(0,47) (1,9)	(0,56) (2,0)	(0,95) (7,8)	(1,72) (15,3)
B	46,6 b (48,1-45,7)	13,6 b (14,2-12,6)	18,3 b (19,9-17,1)	11,2 a (12,5-10,5)	10,3 b (11,6-8,5)
	(0,79) (1,7)	(0,54) (4,0)	(1,01) (5,5)	(0,77) (6,9)	(1,36) (13,2)
C	21,0 c (21,4-20,4)	21,0 c (21,7-20,3)	31,1 c (31,6-30,5)	14,7 b (15,0-14,4)	12,3 a (13,1-11,8)
	(0,36) (1,7)	(0,50) (2,4)	(0,42) (1,3)	(0,24) (1,7)	(0,52) (4,3)

Valores médios seguidos de (máxima; mínima) (desvio-padrão) e (coeficiente de variação); letras diferentes na mesma coluna diferem entre si, a 5% de probabilidade (teste de Tukey).

3.2. Análise dos aspectos visuais dos componentes celulares

Os resultados indicam diferenças no aspecto visual dos componentes celulares dos cavacos de madeira desfibrados, que, na condição de desfibramento B, apresentaram morfologia mais grosseira e coloração mais clara, enquanto na condição C, morfologia mais fina e coloração mais escura (Figura 1). Essas características dos componentes celulares nas diferentes condições de desfibramento foram verificadas por Groom et al. (2004), embora aplicando pressões diferenciadas daquelas deste trabalho.

O aspecto visual dos componentes celulares é indicativo das dimensões mais finas ou grosseiras (condições de desfibramento C e B) dos elementos anatômicos da madeira de *E. grandis*, corroborando

os resultados das determinações quantitativas do equipamento Bauer McNett (Quadro 2, item 3.1).

3.3. Caracterização dos componentes celulares

A caracterização microscópica dos componentes celulares indicou que não houve diferença estatística no número de fibras inteiras e quebradas retidas nas peneiras de 20 e 35 mesh nas três condições de desfibramento (Quadro 3). Analisando, porém, a distribuição porcentual de fibras quebradas (relação entre fibras quebradas/inteiras), verificou-se, na condição de desfibramento C/peneira 20, um valor de 57% superior aos das condições de desfibramento A e B/peneira 20, com 40 e 38%, respectivamente. Nas condições de desfibramento A e C/peneira de 150 mesh, os valores foram de 41 e 42%, em relação a B, com 33%.

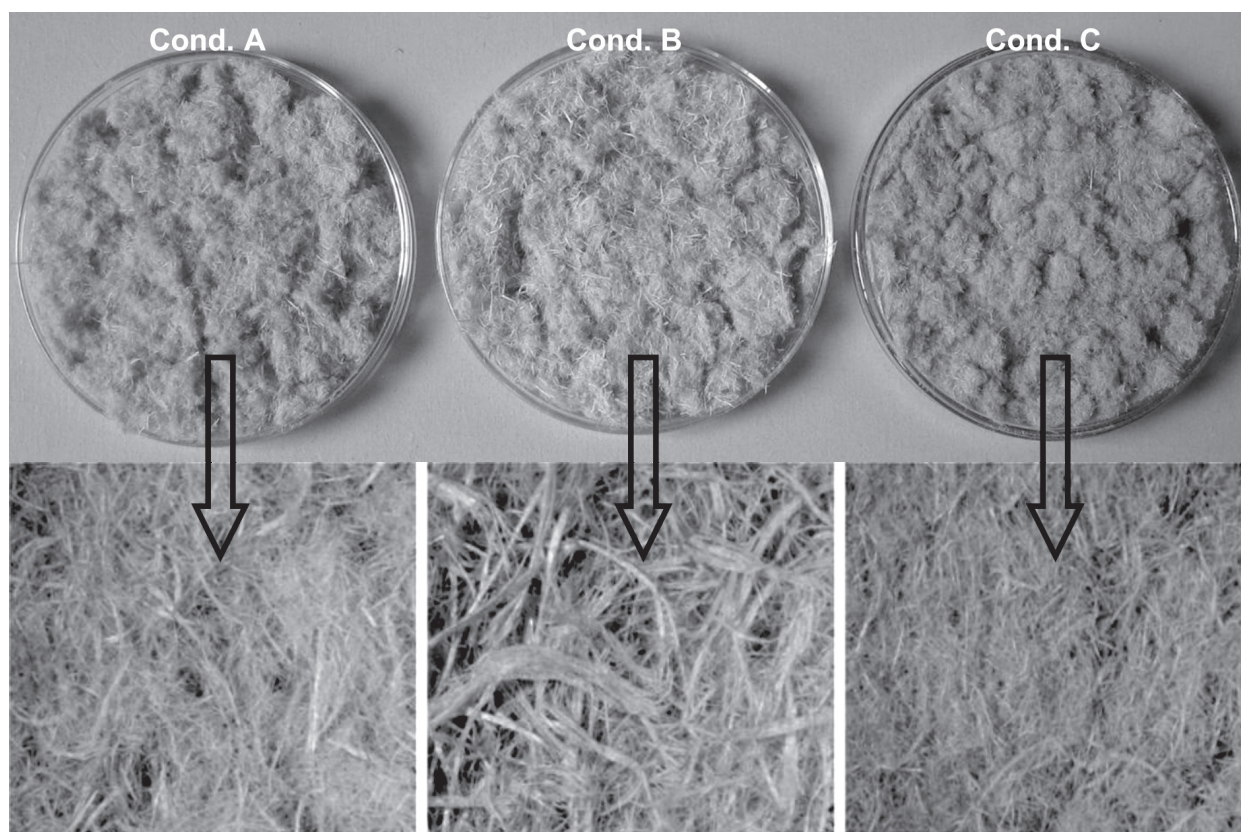


Figura 1 – Aspecto visual dos componentes celulares dos cavacos de madeira de *E. grandis* submetidos a três diferentes tratamentos de desfibramento (A), (B) e (C) (35x).

Figure 1 – Visual aspect of cell components of *E. grandis* wood chips after three different refining conditions (A), (B) and (C) (35x).

Os elementos de vaso e de parênquima na condição de desfibramento B/peneiras de 35 e 150 mesh mostram diferenças estatísticas em relação à condição C, com aumento da presença dessas células no tratamento de intensidade de refino mais branda. Embora não havendo diferença estatística entre as três condições de desfibramento na peneira 65, na condição B verificou-se maior presença desses elementos celulares. Nas peneiras de 20 e 35 mesh, e nas três condições de

desfibramento, embora o número de feixes de fibras tenha sido similar, isso não representa as dimensões das fibras ou dos feixes de fibras, em razão de o campo de observação da imagem (ampliação de 25x) não permitir a visualização do comprimento total dos feixes de fibras. No entanto, nas peneiras de 65 e 150 mesh houve diferença significativa na condição de desfibramento B, com menor número de fibras quebradas e maior número de feixes de fibras, conforme apresentado (itens 3.1-2).

Quadro 3 – Porcentual de fibras inteiras e quebradas, número de feixes de fibras, vasos e parênquima nos cavacos de madeira de *E. grandis* submetidos a três diferentes condições de desfibramento

Table 3 – Percentage of intact and broken fibers, number of fiber bundles, vessels and parenchyma of *E. grandis* wood chips subjected to three different refining conditions

Componente	Condições de Desfibramento	Peneira			
		20	35	65	150
Fibras inteiras	A	3,54 a (6-2) (1,04) (29,29)	4,95 a (10-2) (2,16) (43,71)	9,00 a (15-6) (2,37) (26,29)	9,90 a (13-3) (2,73) (27,54)
	B	3,81 a (7-1) (1,52) (40,02)	5,53 a (10-3) (1,86) (33,73)	7,62 a (10-3) (2,36) (31,05)	7,62 a (12-5) (2,06) (27,09)
	C	3,30 a (6-2) (1,34) (40,69)	4,71 a (9-3) (1,45) (30,84)	8,25 a (13-3) (3,28) (39,74)	8,25 a (13-3) (3,11) (37,67)
Fibras quebradas	A	1,43 a (4-2) (1,03) (72,37)	1,85 a (10-2) (1,14) (61,44)	3,64 a (6-3) (0,92) (25,42)	4,10 a (6-1) (1,52) (37,17)
	B	1,46 a (4-0) (0,99) (67,68)	2,06 a (5-0) (11,16) (56,52)	2,46 b (3-0) (0,97) (39,30)	2,54 b (4-0) (1,27) (49,87)
	C	1,87 a (4-0) (0,86) (46,09)	1,86 a (4-1) (0,85) (45,96)	3,67 a (5-2) (0,89) (24,21)	3,50 ab (5-1) (1,17) (33,36)
Feixes	A	7,14 a (22-0) (6,23) (87,28)	8,25 a (17-1) (3,67) (44,47)	3,36 ab (7-1) (2,01) (59,86)	0,10 a (1-0) (0,32) (316,23)
	B	7,04 a (14-0) (4,11) (58,44)	7,88 a (16-2) (3,69) (48,19)	4,31 a (8-0) (2,02) (46,80)	1,23 b (6-0) (1,69) (137,38)
	C	6,00 a (18-0) (3,96) (65,94)	7,29 a (23-0) (5,60) (76,71)	1,58 b (4-0) (1,16) (73,55)	0,00 a
Elementos de vasos	A	0,14 a (3-0) (0,59) (413,66)	0,15 ab (2-0) (0,49) (326,24)	2,45 a (6-0) (2,11) (86,16)	9,00 ab (16-3) (4,29) (47,72)
	B	0,12 a (2-0) (0,43) (373,93)	0,88 a (6-0) (1,59) (168,29)	2,69 a (7-0) (2,06) (76,40)	11,00 a (18-0) (3,94) (35,79)
	C	0,17 a (1-0) (0,38) (227,43)	0,10 b (2-0) (0,44) (458,26)	1,17 a (4-0) (1,34) (114,61)	5,17 b (11-0) (3,07) (59,42)
Parênquima	A	0,00 a	0,00 a	0,18 a (1-0) (0,40) (222,49)	0,00 a
	B	0,04 a (1-0) (0,20) (509,90)	0,47 b (2-0) (0,62) (123,67)	0,23 a (2-0) (0,60) (259,63)	0,31 b (1-0) (0,48) (156,12)
	C	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a

Valores médios seguidos de (máxima; mínima) (desvio-padrão) e (coeficiente de variação); letras diferentes na mesma coluna, dentro de cada componente, diferem entre si, a 5% de probabilidade (teste de Tukey).

As dimensões das fibras retidas nas peneiras de classificação via úmida nos três tratamentos de desfibramento da madeira são apresentadas no Quadro 4. Observam-se, nesse quadro, diferenças significativas no comprimento e espessura da parede (peneiras de 20 e 35 mesh) e diâmetro do lume (peneira de 65 mesh) das fibras. Esses valores indicam que na condição C, de alta intensidade de refino, não ocorreu colapso da parede das fibras, corroborados pela espessura da parede ligeiramente superior das fibras nessa condição. O comprimento médio das fibras nas peneiras de classificação foi de 940, 1.000 e 920 μm nas condições de desfibramento A, B e C, respectivamente, o que indica ruptura de sua parede no sentido transversal pela maior intensidade de refinação da condição C.

Esses valores são concordantes com os da literatura especializada, sendo a qual o comprimento médio das fibras de eucalipto de 1.000 μm (SILVA et al., 2005), com variações de 600-1.320 μm em *E. grandis* (TOMAZELLO FILHO, 1985a,b; ANDRADE et al., 1994). No entanto, o comprimento médio das fibras na condição C (920 μm) foi inferior ao determinado por Alzate (2004) e Rocha et al. (2004) em *E. grandis*, aos 7 anos de idade, em função do processo de refinação a que foram submetidos os cavacos de madeira. O comprimento das fibras retidas nas peneiras nas condições de desfibramento evidencia diferença estatística na condição B e nas peneiras de 20-35 mesh (de maior abertura), sendo indicativo da presença de fibras de maior comprimento e de feixes de fibras.

Quadro 4 – Comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura da parede das fibras dos cavacos de madeira de *E. grandis*, depois do desfibramento, em três diferentes condições

Table 4 – Fiber length, width, lumen diameter and wall thickness of *E. grandis* wood chips after three different refining conditions

Dimensões das fibras (μm)	Condições de desfibramento	Peneira (mesh)			
		20	35	65	150
Comprimento	A	920,01 a (1224,36-624,24) (1,46) (0,16)	956,38 a (1350,83-697,54) (16,14) (1,69)	996,49 a (1270,52-749,87) (6,32) (0,63)	868,24 a (1118,85-644,56) (9,69) (1,12)
	B	1064,94 b (1648,91-737,03) (30,27) (2,84)	1037,43 b (1582,30-677,18) (47,03) (4,53)	1006,65 a (1554,42-688,12) (9,26) (0,92)	893,03 a (1229,86-658,46) (8,21) (0,92)
	C	915,50 a (1314,30-628,82) (15,12) (1,65)	944,47 a (1328,62-591,45) (27,58) (2,92)	961,75 a (1335,30-686,79) (30,35) (3,16)	852,07 a (1070,39-620,89) (24,68) (2,90)
Largura	A	20,54 a (25,88-16,53) (0,92) (4,48)	20,59 a (27,40-14,72) (0,74) (3,61)	21,62 a (26,92-15,31) (0,63) (2,90)	21,04 a (25,07-15,10) (0,34) (1,60)
	B	20,96 a (28,42-14,58) (0,38) (1,81)	21,10 a (27,87-15,93) (0,36) (1,70)	21,66 a (28,07-16,27) (0,34) (1,55)	20,63 a (24,70-14,23) (0,19) (0,91)
	C	21,20 a (28,34-16,19) (0,11) (0,50)	21,03 a (27,82-16,05) (0,18) (0,86)	21,29 a (27,22-16,50) (0,78) (3,66)	21,15 a (28,60-15,32) (0,41) (1,93)
Diâmetro do lume	A	11,59 a (18,71-6,83) (1,04) (8,99)	11,55 a (17,00-7,34) (1,05) (9,12)	12,55 a (20,08-8,41) (0,56) (4,46)	12,35 a (18,78-7,49) (0,26) (2,12)
	B	11,20 a (18,68-6,24) (0,65) (5,79)	11,53 a (21,25-7,18) (0,68) (5,90)	12,15 ab (18,72-7,57) (0,14) (1,17)	11,68 a (17,65-7,47) (0,27) (2,27)
	C	11,04 a (17,67-5,84) (0,65) (5,84)	11,18 a (16,80-6,00) (0,57) (5,13)	11,62 b (19,05-5,78) (0,61) (5,28)	11,81 a (19,10-6,77) (0,48) (4,06)
Espessura da parede	A	4,48 a (7,31-2,27) (0,09) (2,00)	4,52 a (6,81-1,67) (0,35) (7,68)	4,53 a (7,30-1,20) (0,06) (1,31)	4,35 a (7,66-0,60) (0,04) (0,96)
	B	4,88 ab (7,20-3,03) (0,23) (4,71)	4,79 ab (7,14-1,97) (0,27) (5,66)	4,76 a (7,27-2,78) (0,21) (4,51)	4,48 a (6,58-2,00) (0,14) (3,14)
	C	5,08 b (9,01-2,58) (0,29) (5,68)	4,93 b (7,63-2,88) (0,37) (7,41)	4,84 a (7,20-2,91) (0,14) (2,91)	4,67 a (7,97-2,65) (0,04) (0,77)

Valores médios seguidos de (máxima; mínima) (desvio-padrão) e (coeficiente de variação); letras diferentes na mesma coluna, dentro de cada item dimensional, diferem entre si, a 5% de probabilidade (teste de Tukey).

3.4. Exame dos componentes após o desfibramento sob MEV

A imagem dos componentes celulares dos cavacos de madeira nas três condições de desfibramento (Figura 2), em microscopia eletrônica de varredura, mostra a presença característica de feixes de fibras na condição B, bem como de fibras íntegras e dissociadas na lamela média na condição A, consideradas as mais adequadas para a confecção de painéis MDF (BELINI, 2007). No entanto, a maior frequência de fibras quebradas na condição C corrobora os resultados dos itens anteriores e, apesar da presença de feixes de fibras (21% de retenção na peneira de 20 mesh), observou-se fratura transversal na parede das fibras.

Os resultados apontaram relação das condições de desfibramento dos cavacos de madeira de *E.*

grandis e a qualidade tecnológica final dos painéis MDF (BELINI, 2007). Na condição de desfibramento C, as fibras de morfologia mais fina possivelmente resultem em painéis de melhor inabilidade e acabamento superficial, porém com coloração mais escura e maior demanda de energia na etapa de desfibramento. No entanto, a condição de desfibramento mais branda (B) indica painéis MDF de coloração mais clara, embora com elevada porcentagem de feixes de fibras que podem reduzir a qualidade do painel na etapa de pós-usinagem. A condição de desfibramento A, com parâmetros intermediários de tempo de pré-aquecimento, pressões de desfibramento e na caixa de discos e de energia específica de desfibramento, pode ser recomendada para aplicação em escala industrial na produção de painéis MDF de *E. grandis*.

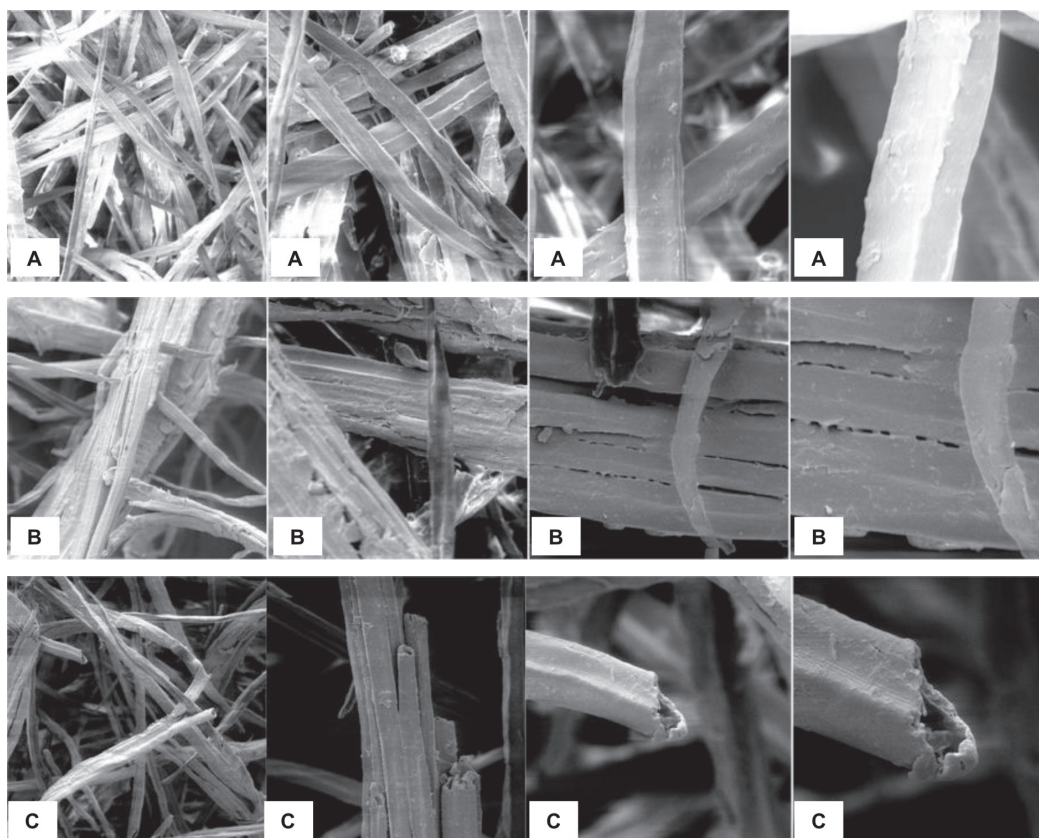


Figura 2 – Componentes celulares da madeira de *E. grandis* após três condições de desfibramento (A, B, C) sob MEV (200, 500, 1.000 e 2.000x, respectivamente).

Figure 2 – Cell components of *E. grandis* wood after three different refining conditions (A, B, C) under SEM (200, 500, 1000 and 2000x, respectively).

4. CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho permitem a conclusão de que a condição de desfibramento dos cavacos de madeira mais branda (condição B) (i) induziu maior porcentagem de fibras e demais componentes celulares na peneira de maior abertura de malha (20 mesh), através do processo de classificação via úmido; e (ii) retenção de 30 a 40% superior no comprimento médio dos referidos componentes, retidos em todas as peneiras, em relação aos desfibramentos intermediário (A) e drástico (C), respectivamente.

O aumento na intensidade de refino dos cavacos de madeira reduziu o comprimento médio das fibras, elevou o percentual de fibras quebradas no sentido transversal, diminuiu o número de vasos e de parênquima e escureceu os componentes celulares. Pelas observações sob microscopia eletrônica de varredura, evidenciou-se que as fibras da madeira, no processo de desfibramento, se separaram normalmente na região da lamela média, quando ocorre o aumento de rupturas transversais com a intensidade de refino.

5. AGRADECIMENTOS

À Duratex S.A e ao Laboratório de Anatomia e Identificação de Madeiras do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP.

6. REFERÊNCIAS

- ANDRADE, A.M.; VITAL, B.R.; BARROS, N.F.; DELLA LUCIA, R.M.; CAMPOS, J.C.C. VALENTE, O.F. Efeitos da fertilização e da calagem do solo na produção e qualidade da madeira de eucalipto. *Revista Árvore*, v.18, n.1, p. 69-79, 1994.
- LZATE, S.B.A. **Caracterização da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus grandis*, *E. saligna* e *E. grandis x urophylla***. 2004. 132 p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Produtos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- BASILE, F.C.; MUSSELMAN, R.L. Energy considerations in fiberboard manufacture. In: WASHINGTON STATE UNIVERSITY INTERNATIONAL PARTICLEBOARD COMPOSITE MATERIALS SERIES SYMPOSIUM, 9., 1985. Washington. **Proceedings...** Washington, 1985, p. 26-28.
- BELINI, U.L. **Caracterização e alterações na estrutura anatômica na madeira do *Eucalyptus grandis* em três condições de desfibramento e efeito nas propriedades tecnológicas de painéis MDF**. 2007. 89 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Produtos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- BENADUCE, C. **Fabricação de painéis de média densidade (MDF) a partir de fibras de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* Barret e Golfari**. 1998. 113 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Madeiras) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.
- BERRADA, E. **Recouvrance hygrothermique du bois vert**. 148 p. Thesis, Universite Montpellier, France, 1991.
- ECKBLAD, J.W. How many samples should be taken. *Bio Science*, v.41, p. 346-348. jun. 1991.
- GROOM, L.; SO, C.L.; ELDER, T.; PESACRETA, T.; RIALS, T. Effect of refining pressure and resin viscosity on resin flow, distribution, and penetration of MDF fibers. In: PACIFIC RIM BIO-BASED COMPOSITES SYMPOSIUM, 7., 2004, Nanjing. **Proceedings**. Nanjing, 2004. v.1, p.227 -239.
- INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMY (IAWA). List of microscopic features for wood identification. *IAWA Bulletin*, Leiden. v 10, n. 3, p. 226 – 332, 1989.
- JOHANSEN, D.A. **Plant microtechnique**. New York: MacGraw-Hill. 1940. 533 p.
- KELLEY, S.S.; RIALS, T.G.; GLASSER, W.G. Relaxation behaviour of the amorphous components of wood. *Journal of Materials Science*, v. 22, p. 617-624. 1987.
- KITAJIMA, E.W.; LEITE, B. **Curso introdutório de microscopia eletrônica de varredura**. Apostila de apoio. Piracicaba. Núcleo de Apoio à Pesquisa em Microscopia Eletrônica, ESALQ/USP, 1999. 46 p.

PRANDA, J. Medium density fiberboards made from *Pinus pinaster* and *Eucalyptus globulus* wood. Part I: Chemical composition and specific surface area of defibrated wood. **Drevarsky Vyskum**, n.2, p.19-28, 1995.

ROCHA, F.T.; FLORSHEIM, S.M.B.; COUTO, H.T.Z. Variação das dimensões dos elementos anatômicos da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden aos sete anos. **Revista Instituto Florestal**, São Paulo, v.16, n.1, p.43-55, 2004.

RODARMEL, J.L. Medium Density Fiberboard refining. **Better Fibers**. Andritz Sprout-Bauer, Muncy: p.1-8, 1995.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT User's Guide**: version 6.08. Carrey, v.2. 1997. 846 p.

SILVA, J.R.M.; MUÑIZ, G.I.B.; LIMA, J.T.; BONDUELLE, A. F. Influência da morfologia das fibras na usinabilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, v.29, n.3, p.479-487, 2005.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **Fiber length of pulp by classification**. Atlanta: TAPPI, 1975. v.1.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus grandis* e *E. saligna*. **Revista IPEF**. Piracicaba. n.29, p.37-45, 1985a.

TOMAZELLO FILHO, M. Estrutura anatômica da madeira de oito espécies de eucalipto no Brasil. **Revista IPEF**. Piracicaba. n.29, p.25-36, 1985b.

XING, C; RIEDL, B; CLOUTIER, A. Measurement of urea-formaldehyde resin distribution as a function of MDF fiber size by laser scanning microscopy. **Wood Science and Technology**. New York. n.37, p. 495 – 507, 2004.