

Propriedades Físicas da Madeira Termorretificada de Quatro Folhosas

Rafael de Avila Delucis¹, Darci Alberto Gatto²,
Pedro Henrique Gonzalez de Cademartori³,
André Luiz Missio⁴, Eduardo Schneid⁵

¹Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas – UFPEL, Pelotas/RS, Brasil

²Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas – UFPEL, Pelotas/RS, Brasil

³Centro de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba/PR, Brasil

⁴Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria/RS, Brasil

⁵Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis/SC, Brasil

RESUMO

O presente estudo objetivou analisar propriedades físicas da madeira termorretificada de quatro eucaliptos. Dessa maneira, foram selecionadas 20 árvores com aproximadamente 60 anos de idade de *Eucalyptus botryoides*, *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus paniculata* e *Eucalyptus tereticornis*. Foram confeccionadas amostras próximas das regiões da medula e da casca, de modo a caracterizar a seleção dos lenhos juvenil e adulto, respectivamente. As amostras foram climatizadas ao teor de umidade de equilíbrio de 12%, condição inicial para tratamentos de termorretificação conduzidos a 200 °C, durante uma hora. As modificações oriundas da termorretificação proporcionaram um aumento da estabilidade dimensional das madeiras. Dentre as madeiras estudadas, a menos higroscópica foi a madeira adulta de *Eucalyptus paniculata*, sendo o maior e o menor incremento de estabilidade dimensional conferidos às madeiras de *Eucalyptus tereticornis* e *Corymbia citriodora*, respectivamente.

Palavras-chave: termorretificação, higroscopicidade, estabilidade dimensional, *Eucalyptus*, *Corymbia*.

Physical Properties of Four Thermally Treated Hardwoods

ABSTRACT

In this study, we aimed to analyze the physical properties of four thermally treated eucalyptuses. To this end, 20 trees (~60 years old) of *Eucalyptus botryoides*, *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus paniculata*, and *Eucalyptus tereticornis* were randomly selected in the municipality of Charqueadas, Rio Grande do Sul state, Brazil. We prepared samples near the pith and bark of trees in order to characterize the selection of juvenile and mature wood, respectively. The samples were kept in a climatic chamber to obtain the equilibrium moisture content (~12%), which was the initial condition for the thermal treatments at 200 °C for 1 hour. Changes due to thermal treatment resulted in an increase in the dimensional stability of wood. Among the eucalyptuses, the lowest hygroscopicity was found for the mature wood of *Eucalyptus paniculata*, while the highest and the lowest increases of dimensional stability were observed for *Eucalyptus tereticornis* and *Corymbia citriodora* wood, respectively.

Keywords: thermal treatment, hygroscopicity, dimensional stability, *Eucalyptus*, *Corymbia*.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, as modificações de propriedades da madeira são um dos principais objetivos das pesquisas na área de tecnologia de produtos de base madeireira. Fundamentalmente, essas modificações visam a aumentar a durabilidade da madeira e reduzir os prejuízos atribuídos à rejeição de peças com comportamento inadequado em sua formação. Para Hill (2006), tais tratamentos devem promover a sustentabilidade pela baixa utilização de energia no processo e objetivar a substituição dos métodos tradicionais, os quais utilizam produtos químicos poluentes. O mesmo autor ressaltou o tratamento de termorreificação por este possuir essas características positivas.

A termorreificação é um processo de modificação de peças de madeira a partir da aplicação de calor até altas temperaturas, que podem variar entre 180 e 260 °C; abaixo de 140 °C, as modificações ocorridas são irrelevantes e, acima de 260 °C, o tratamento passa a comprometer a integridade das amostras (Hill, 2006). Conforme Cademartori et al. (2012), a partir de 200 °C, as modificações nas propriedades físico-mecânicas passam a ser mais significativas.

A termorreificação apresenta estudos que indicam sua eficácia na melhora da estabilidade dimensional e do aumento da resistência à degradação biológica e ao intemperismo (Moura et al., 2012). Embora esse processo não esteja consolidado no Brasil, no continente europeu, a madeira termorreificada é largamente empregada na confecção de produtos, como: *decks*, móveis para jardim, esquadrias, armários internos, *parquet*, painéis decorativos e interior de saunas (Esteves & Pereira, 2009). No Brasil, destacam-se os estudos com madeiras exóticas utilizadas em reflorestamentos, como as do gênero *Eucalyptus*, já que as mesmas são abundantes em plantios comerciais e tal pesquisa também está associada à comprovada necessidade de melhoria em suas propriedades (Brito et al., 2006; Cademartori et al., 2012; Moura et al.; 2012).

De acordo com Oliveira & Silva (2003), dentre as propriedades mais relevantes do ponto de vista dos prejuízos que podem causar, se inapropriadas, destacam-se as propriedades físicas que tangem à estabilidade dimensional. Esses inconvenientes

advindos dos mecanismos de absorção e desorção de água podem ser verificados em operações de corte, secagem e tratamentos, bem como em produtos acabados.

A termorreificação interfere nessas propriedades à medida que ocasiona a diminuição do teor de umidade de equilíbrio e, conseqüentemente, diminui a higroscopicidade das amostras tratadas. Tal mecanismo tem base nas modificações químicas ocorrentes, as quais basicamente consistem na degradação térmica das hemiceluloses e celulose amorfa, concomitante à condensação de lignina; dessa forma, promove-se o aumento, em termos proporcionais, de componentes hidrofóbicos nas amostras, pela diminuição dos hidrofílicos (Windeisen et al., 2007).

O conhecimento de propriedades físicas associadas à higroscopicidade de espécies do gênero eucaliptos não está consolidado; no entanto, um incremento nessas propriedades pode ser de grande valia a fim expandir a gama de possibilidades mercadológicas dessas madeiras, agregando valor às mesmas. Espécies, como *Corymbia citriodora*, que possuem elevadas propriedades mecânicas, podem se tornar economicamente mais atrativas a partir de um acréscimo em sua estabilidade dimensional, utilizando-se um tratamento com condições de processo que não afete significativamente sua resistência e rigidez mecânica. Nesse contexto, o presente estudo objetivou analisar as propriedades físicas da madeira termorreificada de quatro espécies de folhosas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para o estudo, foram selecionadas, conforme o procedimento D5536-94 da *American Society for Testing of Materials* - ASTM (2010), 20 árvores com aproximadamente 60 anos de idade, das espécies de *Eucalyptus botryoides*, *Eucalyptus paniculata*, *Eucalyptus tereticornis* e *Corymbia citriodora* (cinco árvores de cada espécie), no município de Charqueadas, Rio Grande do Sul (29° 57' 35" S 51° 39' 15" O).

Após a derrubada, foi selecionada a primeira tora de 1,5 m de comprimento; dessas toras, foram confeccionadas 96 amostras orientadas em relação

aos planos anatômicos com as dimensões de $1,0 \times 1,0 \times 3,0$ cm (largura \times espessura \times comprimento). Tais amostras advieram das proximidades da medula e da casca do tronco das árvores, de modo a caracterizar a retirada de amostras dos lenhos juvenil e adulto, respectivamente.

As amostras foram climatizadas sob as condições de 20 °C de temperatura e 65% de umidade relativa, até atingirem teor de umidade de equilíbrio de ~12%. Essa foi a condição inicial estabelecida para o tratamento de termorretificação, o qual foi conduzido em um forno mufla, a 200 °C de temperatura e uma hora de permanência das amostras no interior do equipamento.

Após a modificação térmica, a fim de caracterizar as modificações ocasionadas, as amostras foram acondicionadas novamente em câmara climática, sendo inseridas em água e, em sequência, foram submetidas à secagem convencional a 103 °C. Ao fim de cada uma dessas etapas (climatização, saturação e secagem), terminaram por obter massa constante, a partir da qual foram avaliadas: a massa (balança analítica com 0,01g de resolução) e as dimensões físicas (paquímetro digital com 0,01mm de resolução). Por meio das Equações 1, 2, 3, 4 e 5, foram avaliadas as propriedades físicas de cada amostra tratada e não tratada.

$$pb = ma \cdot Vs^{-1} \quad (1)$$

$$TAA = (ms - ma) \cdot 100 \cdot ma^{-1} \quad (2)$$

$$\alpha v = (Vs - Va) \cdot 100 \cdot Va^{-1} \quad (3)$$

$$A = (Ts - Ta) \cdot Ra \cdot [(Rs - Ra) \cdot Ta]^{-1} \quad (4)$$

$$Ue = (m_{12\%} - ma) \cdot 100 \cdot ma^{-1} \quad (5)$$

em que: pb= massa específica básica ($g \cdot cm^{-3}$); ma= massa anidra (g); Vs= volume saturado (cm^3); T_{AA} = taxa de absorção (%); ms= massa saturada (g); αv = coeficiente de inchamento volumétrico (%); Va= volume anidro (cm^3); A= coeficiente de anisotropia (variável adimensional); Ts= dimensão na direção tangencial saturada (cm); Ta= dimensão na direção tangencial anidra (cm); Rs= dimensão na direção radial saturada (cm); Ra= dimensão na direção radial anidra (cm); Ue= teor de umidade de equilíbrio (%); $m_{12\%}$ = massa a 12% de teor de umidade (g).

As amostras foram divididas aleatoriamente em razão do delineamento experimental empregado, que consistiu de blocos casualizados com esquema fatorial, tendo como fatores: a espécie florestal em quatro níveis, o tipo de lenho em dois níveis e o tratamento em dois níveis. A partir desses, foi realizada uma ANOVA multifatorial, avaliando o efeito de cada fator isoladamente, a interação entre cada par de fatores e, por último, a interação tripla entre os fatores. A fim de facilitar a interpretação dos resultados, o desdobramento dos parâmetros físicos foi realizado propondo-se 16 tratamentos em razão dos três fatores empregados no delineamento experimental, os quais foram comparados por testes HSD de Tukey em 5% de probabilidade de erro (Tabela 1).

Os tratamentos propostos pelo delineamento experimental foram classificados em agrupamentos pelo grau de similaridade, com base na distância euclidiana quadrática e nas variáveis: massa específica básica, taxa de absorção, contração volumétrica, coeficiente de anisotropia e teor de umidade de equilíbrio. A classificação foi realizada por meio de uma análise multivariada de clusters (classificação hierárquica), utilizando-se a distância euclidiana quadrática, o método Ward de ligação e a estandarização pelo número de *scores Z*. A segmentação dos agrupamentos foi definida pela linha Fenon, traçada visualmente no dendrograma em razão da distância euclidiana. Adicionalmente, foi realizada uma análise discriminante para estimar a probabilidade de correção da classificação dos tratamentos nos grupos formados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise multifatorial (MANOVA) realizada definiu que o fator tratamento apresentou efeito significativo em todos os parâmetros físicos, exceto para a variabilidade da massa específica básica (pb) (Tabela 2).

A ANOVA multifatorial indicou que todos os parâmetros físicos foram significativamente influenciados pelos fatores lenho e espécie, fatores estes que também denotaram interação mútua significativa. Dessa forma, são ratificados os resultados contidos na literatura que indicam a variabilidade de propriedades físicas da madeira em

Tabela 1. Delineamento experimental empregado.**Table 1.** Experimental arrangement employed.

Tratamento	Posição	Espécie	Termorretificação	Código
1	Lenho Juvenil	<i>Eucalyptus botryoides</i>	Não	EB-J-ST
2		<i>Eucalyptus paniculata</i>	Não	EP-J-ST
3		<i>Eucalyptus tereticornis</i>	Não	ET-J-ST
4		<i>Corymbia citriodora</i>	Não	CC-J-ST
5		<i>Eucalyptus botryoides</i>	Sim	EB-J-T
6		<i>Eucalyptus paniculata</i>	Sim	EP-J-T
7		<i>Eucalyptus tereticornis</i>	Sim	ET-J-T
8		<i>Corymbia citriodora</i>	Sim	CC-J-T
9	Lenho Adulto	<i>Eucalyptus botryoides</i>	Não	EB-A-ST
10		<i>Eucalyptus paniculata</i>	Não	EP-A-ST
11		<i>Eucalyptus tereticornis</i>	Não	ET-A-ST
12		<i>Corymbia citriodora</i>	Não	CC-A-ST
13		<i>Eucalyptus botryoides</i>	Sim	EB-A-T
14		<i>Eucalyptus paniculata</i>	Sim	EP-A-T
15		<i>Eucalyptus tereticornis</i>	Sim	ET-A-T
16		<i>Corymbia citriodora</i>	Sim	CC-A-T

função do tipo de lenho e espécie (Oliveira & Silva, 2003).

No tocante aos parâmetros físicos ρ_b , T_{AA} e A , as interações entre os fatores espécie, lenho e tratamento apresentaram-se significativas. Para o av , somente quando reunidos os três fatores, a interação não foi significativa, pois se considerando qualquer par de fatores, o teste estatístico foi significativo.

Para a variável U_e , os fatores lenho e tratamento apresentaram interação significativa com o fator espécie (espécie \times lenho; espécie \times tratamento); no entanto, não significativa entre si (lenho \times tratamento). Não obstante, quando adicionado o fator espécie novamente, a interação entre os três fatores foi significativa (espécie \times lenho \times tratamento).

Esse comportamento indica que as modificações ocorridas devido à termorretificação na U_e se deram genericamente, de forma semelhante em ambos os lenhos; no entanto, ocorreram de forma distinta na comparação entre as espécies. Na medida em que foi verificado que o fator lenho isolado foi significativo na variabilidade de U_e , pode-se presumir que, embora tenha havido modificações ocasionadas com a termorretificação, a variação de U_e entre lenhos se deve a pormenores dos próprios lenhos juvenil e adulto, que não têm relação com as modificações decorridas do processo de termorretificação.

Os dados do estudo, quando submetidos à ANOVA simples, tendo como fator o sistema de tratamentos proposto na metodologia, indicaram que a hipótese de nulidade foi rejeitada dentro de todos os parâmetros físicos. Além dessa informação, na Tabela 3, as variáveis avaliadas pela ANOVA multifatorial são descritas em razão desses tratamentos propostos pelo planejamento experimental.

Em relação à ρ_b , seus valores médios foram semelhantes a outros estudos utilizando madeiras do gênero *Eucalyptus* (Brito et al., 2006; Modes et al., 2013). Quando comparadas amostras tratadas e não tratadas, pode-se observar que somente para o lenho adulto de *Corymbia citriodora* houve distinção significativa, comportamento que ocorreu de forma semelhante em outros estudos publicados, nos quais não foram observadas diferenças significativas entre amostras tratadas e não tratadas (Brito et al., 2006, Calonego et al., 2012; Modes et al., 2013).

Esse resultado indica que, durante a termorretificação, o aumento de temperatura não provocou nas amostras uma diminuição de massa proporcional à diminuição de volume, apontando que a massa específica básica não pode ser utilizada como parâmetro para avaliar a qualidade da termorretificação (Brito et al., 2006; Calonego et al., 2012).

Tabela 2. Análise de variância multifatorial em razão dos parâmetros físicos da madeira de eucalipto.
Table 2. Multifactorial analysis of variance as a function of physical parameters of eucalypt wood.

Variável	Fonte	SQ	GL	QM	Valor F
pb	A: Espécie	0,140849	3	0,046949	14,76**
	B: Lenho	0,525270	1	0,525270	165,09**
	C: Tratamento	0,008862	1	0,008862	2,79 ^{ns}
	A × B	0,152771	3	0,050923	16,01**
	A × C	0,049361	3	0,016453	5,17**
	B × C	0,043458	1	0,043458	13,66**
	A × B × C	0,083503	3	0,027834	8,75**
	Resíduos	0,553604	174	0,003181	
T _{AA}	A: Espécie	5742,280	3	1914,090	7,32**
	B: Lenho	28571,00	1	28571,00	109,29**
	C: Tratamento	21578,00	1	21578,00	82,54**
	A × B	3779,500	3	1259,830	4,82**
	A × C	9777,370	3	3259,120	12,47**
	B × C	1249,560	1	1249,560	4,78*
	A × B × C	3945,620	3	1315,210	5,03**
	Resíduos	44181,20	174	261,4270	
av	A: Espécie	423,6510	3	141,2170	10,80**
	B: Lenho	1094,690	1	1094,690	83,69**
	C: Tratamento	12758,10	1	12758,10	975,38**
	A × B	238,0450	3	79,34850	6,07**
	A × C	347,0170	3	115,6720	8,84**
	B × C	574,5570	1	574,5570	43,93**
	A × B × C	60,74820	3	20,24940	1,55 ^{ns}
	Resíduos	2132,060	174	13,08010	
A	A: Espécie	2,119890	3	0,706630	26,92**
	B: Lenho	0,412387	1	0,412387	15,71**
	C: Tratamento	2,040960	1	2,040960	77,76**
	A × B	0,687423	3	0,229141	8,73**
	A × C	0,241288	3	0,080429	3,06*
	B × C	0,207423	1	0,207423	7,90**
	A × B × C	0,213143	3	0,071047	2,71*
	Resíduos	4,146760	174	0,026245	
Ue	A: Espécie	41,80480	3	13,93490	7,26**
	B: Lenho	32,02890	1	32,02890	16,69**
	C: Tratamento	2577,080	1	2577,080	1343,17**
	A × B	51,12560	3	17,04190	8,88**
	A × C	18,71170	3	6,237240	3,25*
	B × C	5,114720	1	5,114720	2,67 ^{ns}
	A × B × C	29,58440	3	9,861470	5,14**
	Resíduos	310,8220	174	1,918650	

pb= massa específica básica; T_{AA} = taxa de absorção; av= coeficiente de inchamento volumétrico; A= coeficiente de anisotropia; Ue= umidade de equilíbrio; SQ=soma dos quadrados; GL= graus de liberdade; QM= quadrado médio; F= valor de F calculado; **significativo em 1% de probabilidade de erro; *significativo em 5% de probabilidade de erro; ^{ns} não significativo.

No lenho adulto de *Corymbia citriodora*, a diferença significativa entre amostras tratadas e não tratadas foi de 12,84%. Em seu estudo, Esteves & Pereira (2009) também verificaram um decréscimo significativo dessa variável comparando amostras

tratadas e não tratadas e atribuíram esse resultado à degradação das hemiceluloses, aos produtos voláteis e à evaporação de extrativos.

A variável T_{AA} foi alterada significativamente com a termoretificação na madeira das espécies

Tabela 3. Descrição dos parâmetros físicos em razão do delineamento experimental.**Table 3.** Description of physical parameters as a function of experimental arrangement.

Tratamento	ρ_b (g cm^{-3})	T_{AA} (%)	α_v (%)	A (*)	Ue (%)
EB-J-ST	0,610 abc (9,15)	93,516 ef (22,09)	31,264 f (24,46)	1,491 efg (12,77)	13,099 c (3,80)
EB-J-T	0,562 a (17,21)	89,028 e (26,05)	9,928 ab (8,99)	1,320 bcde (15,09)	5,133 a (26,38)
CC-J-ST	0,626 abcde (3,65)	86,213 de (3,16)	24,667 cd (13,07)	1,210 abc (9,23)	13,017 c (3,75)
CC-J-T	0,612 abcd (3,12)	78,170 cde (2,65)	7,734 ab (16,09)	1,089 a (5,75)	5,966 a (13,58)
EP-J-ST	0,577 ab (21,28)	112,199 f (42,92)	35,087 f (4,08)	1,455 cdef (19,93)	12,851 c (2,78)
EP-J-T	0,687 bcdefg (11,28)	53,551 abc (3,65)	11,617 b (32,87)	1,190 ab (15,08)	6,201 a (14,57)
ET-J-ST	0,674 cdefg (13,14)	84,830 de (21,54)	30,393 ef (19,53)	1,204 abcd (9,68)	13,576 c (2,54)
ET-J-T	0,692 cdefg (2,83)	48,039 a (14,33)	9,330 ab (19,89)	1,167 ab (11,70)	5,480 a (8,64)
EB-A-ST	0,720 efg (6,19)	71,060 bcde (12,38)	22,179 cd (4,84)	1,733 g (9,23)	15,664 d (7,22)
EB-A-T	0,743 fg (3,94)	47,270 ab (6,68)	10,304 ab (12,05)	1,259 abcde (8,02)	5,970 a (22,99)
CC-A-ST	0,849 h (2,54)	47,711 a (5,75)	19,910 c (6,82)	1,205 ab (11,49)	12,875 c (2,40)
CC-A-T	0,740 fg (3,17)	49,449 ab (5,90)	9,207 ab (27,80)	1,064 a (5,73)	4,839 a (15,71)
EP-A-ST	0,699 defg (4,45)	73,775 cde (6,86)	25,307 de (27,44)	1,457 def (11,12)	14,309 cd (6,90)
EP-A-T	0,648 bcdef (4,39)	45,705 a (12,49)	5,689 a (10,38)	1,214 abc (12,10)	5,335 a (6,18)
ET-A-ST	0,761 g (5,98)	63,127 abcd (11,21)	19,511 c (11,78)	1,635 fg (13,26)	14,555 cd (5,83)
ET-A-T	0,723 efg (2,43)	47,163 a (22,11)	7,897 ab (24,37)	1,344 bcde (12,85)	8,722 b (49,62)

ρ_b = massa específica básica; T_{AA} = taxa de absorção; α_v = coeficiente de inchamento volumétrico; A= coeficiente de anisotropia; Ue= umidade de equilíbrio; EB=*Eucalyptus botryoides*; CC= *Corymbia citriodora*; EP= *Eucalyptus paniculata*; ET= *Eucalyptus tereticornis*; T= amostras tratadas; ST= amostras sem tratamento; J= lenho juvenil; A= lenho adulto. Em uma mesma coluna, médias seguidas de letras iguais não possuem diferença estatisticamente significativa, conforme o teste HSD de Tukey.

de *Eucalyptus paniculata* e *Eucalyptus tereticornis*, exceto no lenho adulto de *Eucalyptus tereticornis*. O menor e/ou o melhor valor médio para essa propriedade ocorreu para a madeira tratada e adulta de *Eucalyptus paniculata* (45,70%), um resultado semelhante a outros estudos, em que a taxa de absorção foi reduzida significativamente pelo tratamento de termorretificação (Cademartori et al., 2012; Modes et al., 2013). Em ambos os lenhos de *Eucalyptus botryoides* e no lenho juvenil de

Corymbia citriodora, os valores médios dessa variável não apresentaram distinção significativa quando comparadas amostras tratadas e não tratadas.

De acordo com Brito et al. (2006), essa redução da retratibilidade deve-se à redução do número de sítios de sorção de água localizado na madeira, como, por exemplo, as hidroxilas. Dessa maneira, o aumento da estabilidade dimensional proporcionado pela termorretificação se deve à redução da higroscopicidade das amostras tratadas.

Esse mecanismo ocorre porque as hemiceluloses, que têm caráter hidrofílico, são degradadas em temperaturas inferiores e, assim, são vaporizados os radicais aos quais a água normalmente se une; concomitantemente, há um acréscimo percentual do teor de lignina, que possui caráter hidrofóbico (Kamdern et al., 2002; Sivonen et al., 2002).

A variável *av* diferiu significativamente em todas as comparações possíveis entre amostras tratadas e não tratadas, assim como em outros estudos (Brito et al., 2006; Cademartori et al., 2012). O percentual de redução atribuído à termorretificação na *av* ocorreu numa faixa entre 53 e 78%, destacando-se a madeira adulta de *Eucalyptus paniculata*, com 77,52% de diferença entre os valores médios das amostras tratadas e não tratadas. Assim como para a T_{AA} , a madeira termorretificada adulta de *Eucalyptus paniculata* obteve o menor e/ou o melhor valor médio para essa propriedade (5,69%).

Para a variável *A*, tendo em vista a comparação entre a madeira tratada e não tratada, a madeira juvenil das espécies *Eucalyptus botryoides* e *Eucalyptus tereticornis*, bem como a madeira juvenil e adulta de *Corymbia citriodora*, não apresentaram distinção significativa. Semelhante resultado foi observado por Esteves & Pereira (2009), os quais

mencionaram que, apesar da considerável melhora na estabilidade dimensional das peças de madeira, a anisotropia do inchamento ainda permanece na madeira tratada.

A *Ue* logrou diferença significativa em todas as comparações possíveis entre amostras tratadas e não tratadas. O decréscimo dessa variável atribuída ao tratamento ocorreu numa faixa entre 40 e 63% do teor de umidade das amostras não tratadas. Nesse sentido, pode-se destacar a comparação entre os lenhos adultos das madeiras de *Corymbia citriodora*, obtendo 62,41% de diferença, e *Eucalyptus paniculata*, que apresentaram 62,71% de diferença.

Na Figura 1, é apresentado o dendrograma formado a partir da análise de cluster, que teve em consideração as variáveis: *pb*, T_{AA} , *av*, *A* e *Ue*. A aplicação da linha Fenon ocorreu à distância euclidiana correspondente à posição aproximada de 7,5.

Conforme a análise de agrupamento de cluster, a divisão proposta consiste de três grupos: um grupo formado pelas amostras tratadas termicamente, outro pelo lenho juvenil das amostras não tratadas e, por último, um grupo formado pelas amostras de lenho adulto não tratadas. Esse resultado, de certa forma, explica a interação significativa entre os

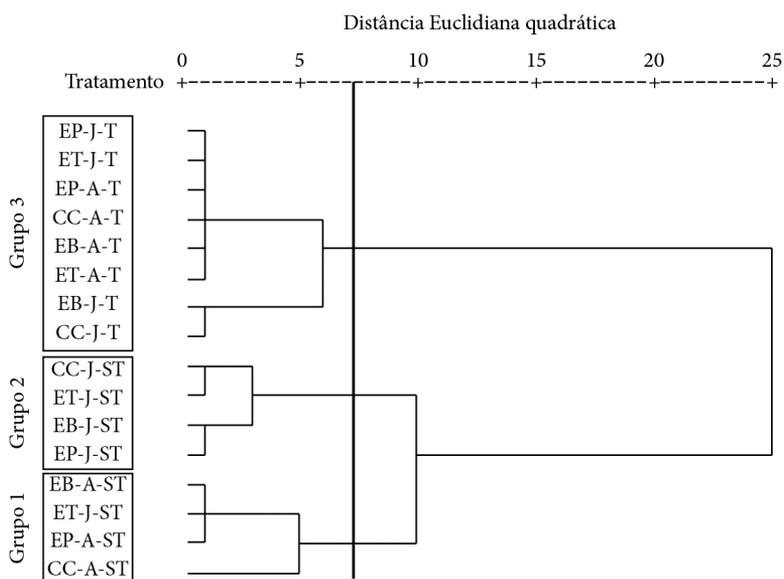


Figura 1. Dendrograma obtido por meio da análise de cluster em razão dos parâmetros físicos da madeira de eucalipto.

Figure 1. Dendrogram obtained from cluster analysis as a function of physical parameter of eucalypt wood.

Tabela 4. Número de casos e porcentagens de classificação dos tratamentos de termorretificação nos três grupos obtidos.

Table 4. Number of case and percentages of classification of treatments in the three groups obtained.

Grupos	Número de tratamentos	Grupos		
		I	II	III
I	4	3	1	0
	100%	75%	25%	0%
II	4	0	4	0
	100%	0%	100%	0%
III	8	0	0	8
	100%	0%	0%	100%

93,75% dos tratamentos foram classificados corretamente.

fatores lenho e tratamento evidenciada em quatro dos cinco parâmetros na ANOVA multifatorial.

Na Tabela 4, é apresentado o resumo da análise discriminante realizada para classificar os tratamentos em corretos e incorretos, nos grupos formados a partir da análise cluster.

Pela Tabela 4, é possível observar que, somente no grupo I, apresentou-se classificação incorreta de um tratamento, pertencente ao grupo II. Nos demais grupos, não houve nenhuma classificação incorreta. Dessa maneira, as funções discriminantes classificaram corretamente 93,75% dos tratamentos realizados, indicando a precisão da técnica de agrupamento. Além da precisão conferida à análise de clusters, a análise discriminante ratificou a melhora decorrente da termorretificação nas propriedades físicas relativas à estabilidade dimensional avaliadas no presente estudo.

4. CONCLUSÕES

- A termorretificação proporcionou um aumento na estabilidade dimensional, tendo em vista a comparação das amostras tratadas e não tratadas;
- Os fatores espécie, lenho e tratamento, em um contexto geral, apresentaram significativa interação na variabilidade das propriedades físicas;
- A massa específica básica mostrou-se inadequada como parâmetro de qualidade do tratamento de termorretificação;
- A madeira de *Eucalyptus tereticornis* apresentou o maior incremento de estabilidade dimensional; por outro lado, a madeira de *Corymbia citriodora* apresentou a menor interação do fator tratamento;
- A madeira termorretificada adulta de *Eucalyptus paniculata* denotou a menor higroscopicidade;

- As modificações oriundas do tratamento de termorretificação aumentaram o grau de similaridade das propriedades físicas, quando comparadas entre lenhos.

STATUS DA SUBMISSÃO

Recebido: 26/08/2013

Aceito: 10/10/2013

Publicado: 31/02/2014

AUTOR PARA CORRESPONDÊNCIA

Rafael de Avila Delucis

Centro de Desenvolvimento Tecnológico,
Universidade Federal de Pelotas – UFPEL, CEP
96010-290, Pelotas, RS, Brasil
e-mail: r.delucis@hotmail.com

APOIO FINANCEIRO

Não houve nenhum tipo de apoio financeiro à pesquisa que foi realizada.

REFERÊNCIAS

- American Society For Testing And Materials - ASTM. *Standard practice for sampling forest trees for determination of clear wood properties* - ASTM D5536-94. Philadelphia: ASTM; 2010. 9 p.
- Brito JO, Garcia JN, Bortoletto G Jr, Pessoa AMC, Silva PHM. Densidade básica e retratibilidade da madeira de *Eucalyptus grandis*, submetida a diferentes temperaturas de termorretificação. *Cerne* 2006; 12(2): 182-188.
- Calonego FW, Severo ETD, Ballarin AW. Physical and mechanical properties of thermally modified wood from *E. grandis*. *European Journal of Wood and*

- Wood Products* 2012; 70(4): 453-460. <http://dx.doi.org/10.1007/s00107-011-0568-5>
- Cademartori PHG, Schneid E, Gatto DA, Beltrame R, Stangerlin DM. Modification of Static Bending Strength Properties of *Eucalyptus grandis* Heat-Treated Wood. *Materials Research* 2012; 15(2): 922-927. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-14392012005000136>
- Esteves BM, Pereira HM. Wood modification by heat treatment: a review. *BioResources* 2009; 4(1): 370-404.
- Hill CAS. *Wood modification: Chemical, thermal and other processes*. Chichester: Wiley; 2006. <http://dx.doi.org/10.1002/0470021748>
- Kamdem DP, Pizzi A, Jermannaud A. Durability of heat-treated wood. *European Journal of Wood and Wood Products, Dordrecht* 2002; 60(1): 1-6. <http://dx.doi.org/10.1007/s00107-001-0261-1>
- Modes KS, Santini EJ, Vivian MA. Hygroscopicity of wood from *Eucalyptus grandis* and *Pinus taeda* subjected to thermal treatment. *Cerne* 2013; 19(1): 19-25. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602013000100003>
- Moura LF, Brito JO, Silva FG Jr. Effect of thermal treatment on the chemical characteristics of wood from *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden under different atmospheric conditions. *Cerne* 2012; 18(3): 449-455. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602012000300012>
- Oliveira JTS, Silva JC. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. *Árvore* 2003; 27(3): 381-385. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622003000300015>
- Sivonen H, Maunu SL, Sundholm F, Jämsä S, Viitaniemi P. Magnetic resonance studies of thermally modified wood. *Holzforschung* 2002; 56(6): 648-654. <http://dx.doi.org/10.1515/HF.2002.098>
- Windeisen E, Strobel C, Wegener G. Chemical changes during the production of thermo-treated beech wood. *Wood Science and Technology* 2007; 41(6): 523-536. <http://dx.doi.org/10.1007/s00226-007-0146-5>