



RELAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA, ANIDRA E INCHAMENTO VOLUMÉTRICO DE QUATRO ESPÉCIES FLORESTAIS

Dercilio Junior Verly Lopes¹, Pedro Nicó de Medeiros Neto¹, Vinicius Peixoto Tinti¹, Gabrielly dos Santos Bobadilha¹, Ana Paula Câmara da Silva¹

¹ Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal do Espírito Santo – UFES (derciliolopes@hotmail.com), Jerônimo Monteiro/ES, Brasil

Recebido em: 30/09/2014 – Aprovado em: 15/11/2014 – Publicado em: 01/12/2014

RESUMO

O objetivo do trabalho foi relacionar a massa específica básica, anidra com o inchamento volumétrico nas três direções estruturais do lenho das madeiras de *Eucalyptus* sp., *Manilkara* sp., *Caesalpinia echinata* e *Cordia* sp. Estas madeiras foram provenientes de tábuas localizadas no Laboratório de Usinagem e Beneficiamento da Madeira pertencente ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira (DCFM) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) em Jerônimo Monteiro – ES. Os corpos de prova foram obtidos na posição entre a medula e a casca, livres de defeitos (nós, tortuosidades e bifurcações) com dimensões de 2,0 x 2,0 x 3,0 cm (radial x tangencial x longitudinal) devidamente orientados com dez repetições para cada espécie florestal ensaiada. Realizou-se os estudos da correlação de Pearson e coeficiente de determinação para explicar o fenômeno do inchamento volumétrico em função das massas específicas. Ao avaliar as massas específicas, observou-se que a madeira de *Eucalyptus* sp., obteve o maior valor absoluto anidro. Para a massa específica básica a madeira de *Manilkara* sp., obteve a maior média entre as espécies estudadas. Quanto ao inchamento nas direções estruturais, radial e tangencial (14,31 e 14%, respectivamente), a madeira de *Eucalyptus* sp., mostrou-se mais instável dimensionalmente e a madeira de *Caesalpinia echinata* a mais estável (5,52 e 5,87% nas direções radial e tangencial, respectivamente). A madeira de *Cordia* sp., foi a única que mostrou significância entre as variáveis estudadas pela correlação de Pearson, com o coeficiente de correlação de -0,90 e -0,82, e coeficiente de determinação de 81 e 68% respectivamente para a massa específica básica e anidra.

PALAVRAS-CHAVE: correlação de Pearson, madeira, variação volumétrica.

RELATIONSHIP OF MASS SPECIFIC BASIC, ANHYDROUS AND VOLUMETRIC SWELLING FOUR FOREST SPECIES

ABSTRACT

The objective was to relate the specific gravity, anhydrous with volumetric swelling in the three structural directions of the wood for *Eucalyptus* sp., *Manilkara* sp., *Caesalpinia echinata* and *Cordia* sp. These woods were from boards located at the Laboratory of Machining and Processing of Wood from the Department of Forest Sciences and Madeira (DCFM) of the Federal University of Espírito Santo (UFES) in Jerônimo Monteiro - ES. The specimens were obtained at the position between the pith and the bark, free of defects (knots, tortuosity and bifurcations) with dimensions

of 2.0 x 2.0 x 3.0 cm (radial x tangential x longitudinal) properly oriented with ten repetitions for each forest species tested. Was realized studies of the Pearson correlation coefficient and determination to explain the phenomenon of volumetric swelling depending on the specific masses. When evaluating specific masses, was observed that the wood of *Eucalyptus* sp. had the highest anhydrous absolute value. For the specific gravity of the wood *Manilkara* sp., Had the highest average among the studied species. Regarding the structural swelling, radial and tangential directions (14,31 and 14%, respectively), the *Eucalyptus* sp. was more dimensionally unstable and wood of *Caesalpinia echinata* more stable (5.52 and 5,87% in radial and tangential, respectively) directions. The wood of *Cordia* sp., which was the only significant among the variables studied for Pearson correlation, with the correlation coefficient of -0.90 and -0.82, and the coefficient of determination of 81 and 68% respectively for specific gravity and anhydrous.

KEYWORDS: Pearson correlation, volumetric variation, wood

INTRODUÇÃO

A versatilidade da madeira é demonstrada pela variedade de produtos que deste material são produzidos, dentre estes, energia, celulose e papel, material de construção para os meios urbano e rural, indústria moveleira e produtos para fins medicinais. É um produto renovável e mais acessível que as outras fontes de matéria-prima, como os combustíveis fósseis.

De acordo com SIMPSON & TENWOLDE (2010) a madeira perde ou ganha umidade presente no ar, e a quantidade desta depende da umidade relativa do ar, temperatura, e o teor corrente de água presente na madeira e que esta relação água: madeira tem influência principalmente sobre as propriedades físicas da madeira, dentre estas a retratibilidade e o inchamento. Esta variedade é resultado das características ou propriedades físico-químicas e anatômicas das espécies florestais que interferem no uso adequado dos produtos madeireiros.

Segundo OLIVEIRA (1997), a retratibilidade é um o fenômeno da variação dimensional, da madeira, quando há alteração no seu teor de umidade. As variações nas dimensões das peças de madeira começam a ocorrer, quando esta perde ou ganha umidade, abaixo da umidade de saturação das fibras (USF), e este movimento da madeira em função da umidade relativa do ar, é conhecido como instabilidade dimensional.

O princípio da retratibilidade se deve ao fato de as moléculas de água estarem ligadas por pontes de hidrogênio às microfibrilas dos polissacarídeos que formam a madeira, e quando estas são forçadas a sair, deixam um espaço e as forças de coesão tendem a reaproximar as microfibrilas, causando, portanto, contração da madeira. O fenômeno da expansão é o inverso, ou seja, quando a água adsorvida pela madeira, tende a penetrar entre as microfibrilas, causando, portanto, o afastamento destas e conseqüente inchamento da peça de madeira como um todo (SHMULSKY & JONES, 2011).

A massa específica é uma das características mais utilizadas para avaliação da qualidade da madeira, em virtude de fácil determinação e em virtude de se correlacionar com diversas propriedades físicas, mecânicas e com a estrutura anatômica da madeira, sendo caracterizada fisicamente como a relação da massa de amostra por unidade de volume (BATISTA et al., 2010; MATTOS et al., 2011; MELO et al.; 2013).

A mensuração das propriedades físicas da madeira é importante para definir a

utilização dos seus produtos que abastece o mercado consumidor, desta forma, mediante o exposto o objetivo deste trabalho foi a determinação da massa específica básica e anidra e o inchamento das madeiras de *Cordia* sp., *Caesalpinia echinata*, *Manilkara* sp., e *Eucalyptus* sp. e a análise das relações entre as propriedades por meio da correlação de Pearson.

MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho utilizou-se as madeiras de Louro preto (*Cordia* sp.), Pau Brasil (*Caesalpinia echinata*) e Maçaranduba (*Manilkara* sp.) de idades desconhecidas e Eucalipto (*Eucalyptus* sp.) com aproximadamente 40 anos de idade, provenientes de tábuas localizadas no Laboratório de Usinagem e Beneficiamento da Madeira pertencente ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira (DCFM) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) em Jerônimo Monteiro - ES. Os corpos de prova foram obtidos de tábuas intermediárias, que possui-se a presença de cerne e alborno, livres de defeitos (nós, tortuosidades e bifurcações) com dimensões de 2,0 x 2,0 x 3,0 cm (radial x tangencial x longitudinal) devidamente orientados em que para cada espécie florestal utilizou-se 10 repetições.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Ciência da Madeira (LCM) pertencente ao (DCFM - UFES). O volume foi medido de acordo com o método do deslocamento de água, descrito pela Norma Brasileira Regulamentadora - NBR 11941 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2003).

A massa anidra dos corpos de prova foi determinada em estufa, a temperatura de 103 ± 2 °C até atingirem a massa constante. O volume anidro das amostras foi obtido pela NBR 11941 (2003), com substituição da água pelo mercúrio, sendo verificadas sucessivas medições da temperatura do mercúrio, com o auxílio de um termômetro para efetuar correções na massa específica do mercúrio. A massa das amostras foi determinada em uma balança de precisão de 0,01g. Inicialmente, a densidade do mercúrio foi determinada de acordo com a Equação 1.

$$D_{Hg} = 13,6052 - (0,0025 * T_{Hg}) \quad (1)$$

Em que:

D_{Hg} : Densidade do mercúrio (g.cm^{-3});

T_{Hg} : Temperatura do mercúrio (°C);

Com auxílio da densidade do mercúrio e do volume deslocado (empuxo) pela imersão das amostras, foi realizada a determinação do volume real de cada amostra, de acordo com a Equação 2.

$$V = \frac{(E - 0,4)}{D_{Hg}} \quad (2)$$

Em que:

V: Volume real das amostras (cm^{-3});

E: Empuxo (g), obtido diretamente no visor da balança ao realizar a imersão;

0,4: Constante de correção pela imersão parcial da agulha fixadora do corpo de prova no mercúrio;

D_{Hg} : Densidade do mercúrio (g.cm^{-3});

Após o registro da massa seca, volume saturado e anidro a determinação da massa específica básica e anidra estabeleceu-se de acordo com as Equações 3 e 4, respectivamente.

$$MEb = \frac{MS}{VV} \quad (3)$$

Em que:

MEb: massa específica básica (g.cm^{-3});

MS: massa seca, g;

VV: volume verde ou saturado, cm^{-3} e;

$$MEa = \frac{MS}{VS} \quad (4)$$

Em que:

MEa: massa específica anidra (g.cm^{-3});

MS: massa seca, g;

VS: volume seco ou anidro, cm^{-3} .

A determinação do inchamento máximo foi de acordo com a Equação 5.

$$\alpha = \frac{(DV - DS)}{DS} \times 100 \quad (5)$$

Em que:

α : inchamento máximo, em uma dada direção estrutural (%);

DV: dimensão verde, em uma dada direção estrutural (%);

DS: dimensão seca, em uma dada direção estrutural (%).

O inchamento volumétrico foi calculado pela soma dos inchamentos volumétricos em cada direção estrutural, de acordo com a Equação 6.

$$\alpha_v = \alpha_r + \alpha_t + \alpha_l \quad (6)$$

Em que:

α_v = inchamento volumétrico (%);

α_r = inchamento na direção radial (%);

α_t = inchamento na direção tangencial (%);

α_l = inchamento na direção longitudinal (%).

Para a análise dos resultados, utilizou-se a análise de variância (teste F a 5% de significância) e nos casos em que a hipótese de nulidade foi rejeitada, aplicou-se o teste de Tukey (5% de significância) para a diferenciação das médias. Para avaliar a relação entre a massa específica básica e anidra com o inchamento volumétrico aplicou-se o coeficiente de correlação de Pearson, e na regressão linear simples adotou-se o modelo $Y = ax + b$ para relacionar o inchamento volumétrico em função da massa específica básica e anidra.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, encontra-se o resumo das análises de variância para a massa específica básica e anidra das quatro espécies florestais estudadas.

TABELA 1. Análise de variância para a massa específica básica e anidra

Fontes de Variação	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	
		Massa específica básica (g.cm ⁻³)	Massa específica anidra (g.cm ⁻³)
Espécie	3	0,06682 *	0,17418 *
Resíduo	36	0,00167	0,00168
Total	39		

* Significativo a 95% de probabilidade.

Observa-se na Tabela 1 que ocorreu a rejeição da hipótese de nulidade para ambas as massas específicas das quatro espécies florestais avaliadas, desta forma procedeu-se o teste de média observada na Tabela 2.

TABELA 2. Valores médios da massa específica anidra e básica das quatro espécies florestais estudadas

Espécie estudada	Massa específica básica (g.cm ⁻³)	Massa específica anidra (g.cm ⁻³)
<i>Eucalyptus</i> sp	0,87 a ¹ (0,03)(3,44) ²	1,05 a ¹ (0,04)(3,80) ²
<i>Manilkara</i> sp	0,82 b (0,03)(3,65)	1,02 a (0,04)(3,92)
<i>Caesalpinia echinata</i>	0,80 b (0,05)(6,25)	0,87 b (0,04)(4,59)
<i>Cordia</i> sp	0,68 c (0,02)(2,94)	0,76 c (0,02)(2,63)

¹ Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância (Tukey, p > 0,05).

² Valores abaixo da média, a esquerda e a direita, correspondem ao desvio-padrão e coeficiente de variação, respectivamente.

O maior valor médio da massa específica básica das quatro espécies estudadas foi da madeira de *Eucalyptus* sp, com 0,87 g.cm⁻³. Valores inferiores foram encontrados por BATISTA et al., (2010) ao estudarem as madeiras de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* com 11 anos de idade. Este maior valor pode ser explicado pela diferença das idades dos plantios florestais.

Para a espécie da madeira de *Manilkara* sp., a média geral foi de 0,82 g.cm⁻³. Este valor está próximo ao apresentado pelo IPT (2014) que é de 0,83 g.cm⁻³ para madeiras deste gênero. A madeira de *Cordia* sp, possuiu o menor valor de massa específica básica (0,68 g.cm⁻³), resultado superior ao encontrado pelo mesmo instituto que foi de 0,48 g.cm⁻³. A *Caesalpinia echinata* apresentou valores médios de 0,80 g.cm⁻³, semelhantes aos encontrados por MARQUES et al., (2012) para esta espécie com 20 anos de idade.

Em relação a massa específica anidra, observa-se que o maior valor absoluto

foi para o *Eucalyptus* sp. (1,05 g.cm⁻³), que não diferenciou estatisticamente da madeira de *Manilkara* sp, e o menor valor foi observado para a espécie *Cordia* sp. (0,76 g.cm⁻³).

Os valores de inchamento nas três posições (radial, tangencial e longitudinal) e volumétrico das quatro espécies estudadas estão apresentados na Tabela 3.

TABELA 3. Valores médios do inchamento em cada direção estrutural e volumétrico

Espécie	Inchamento máximo (%)			
	Radial	Tangencial	Longitudinal	Volumétrico
<i>Eucalyptus</i> sp	14,31a ¹ (1,04)(7,26) ²	14,00 a (0,91)(6,5)	0,42 a (35)(59,52)	28,74 a (1,43)(4,97)
<i>Manilkara</i> sp	7,19 b (1,91)(26,56)	9,43 b (1,80)(19,08)	0,89 a (0,94)(105,61)	17,53 b (3,04)(17,34)
<i>Cordia</i> sp	6,67 b (1,82)(27,28)	7,88 bc (2,32)(29,44)	0,54 a (0,37)(68,51)	15,10 bc (1,35)(8,94)
<i>Caesalpinia echinata</i>	5,52 b (3,43)(62,13)	5,87 c (1,86)(31,68)	0,53a (0,52)(98,11)	11,92 c (4,63)(38,84)

¹ Médias seguidas pela mesma letra minúscula, dentro de uma coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância (Tukey, p > 0,05). ² Valores abaixo da média, correspondem ao desvio-padrão e coeficiente de variação, respectivamente.

Nota-se pela Tabela 3 que o inchamento máximo na direção tangencial foi superior ao do sentido radial, com exceção da madeira de *Eucalyptus* sp., no qual diferenciou estatisticamente das demais madeiras avaliadas. Destaca-se que no sentido longitudinal não ocorreu diferença significativa entre as espécies, e estes valores estão de acordo com os descritos por PANSWIN & DE ZEEUW (1980).

Os menores valores absolutos do inchamento nas direções tangencial e radial foram observados para a madeira de *Caesalpinia echinata*, em que no sentido longitudinal não diferiu estatisticamente das demais espécies estudadas.

A espécie *Eucalyptus* sp, apresentou o maior inchamento volumétrico (20,74 %), mostrando-se uma madeira com elevada instabilidade dimensional, sendo a madeira de *Caesalpinia echinata* a mais estável entre as espécies estudadas.

Este inchamento consiste no ganho de água abaixo da umidade de saturação das fibras, sendo responsável pela variação dimensional da madeira, e constitui uma característica indesejável que limita seu uso para diversas finalidades, principalmente na indústria moveleira, que exige técnica específica para a sua utilização, principalmente em programas de secagem.

Para verificar a influência da massa específica básica e anidra no inchamento volumétrico das quatro espécies florestais estudadas foi realizada a análise de regressão linear, conforme ilustrados nas Figuras de 1 a 4. Na Figura 1 consta a análise de regressão para a madeira de *Eucalyptus* sp.

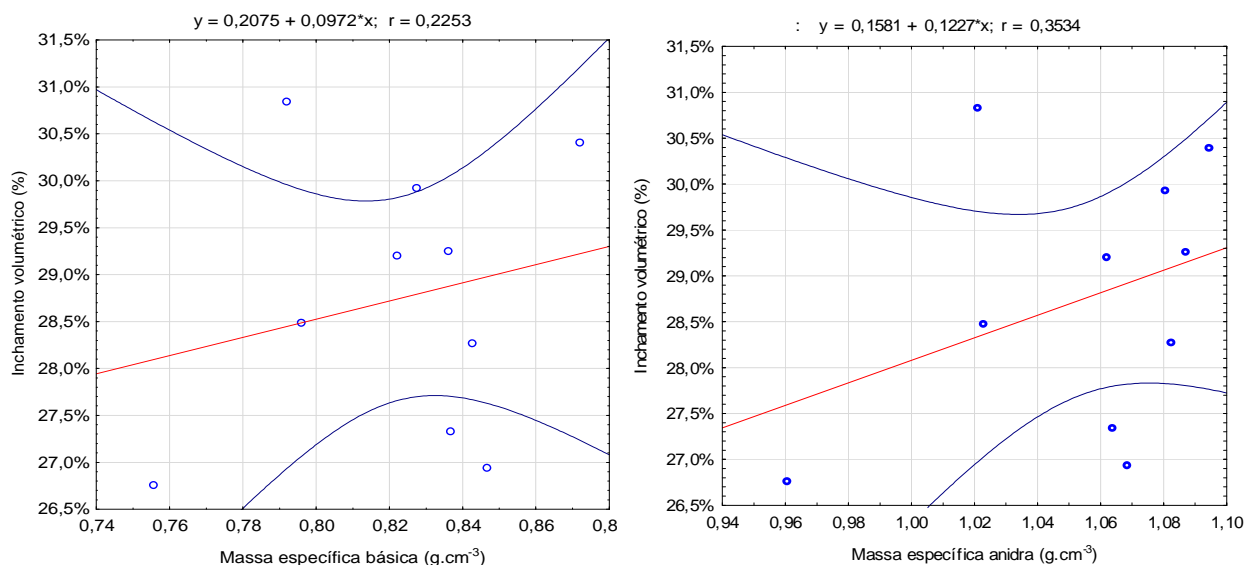


FIGURA 1. Regressão linear simples entre o inchamento volumétrico da madeira de *Eucalyptus* sp. em função da massa específica anidra e básica. Reto vermelha: linha de tendência, curva azul: intervalo de confiança 95%.

Como pode ser observado na Figura 1, a massa específica básica e anidra apresentaram baixos coeficiente de correlação com o inchamento volumétrico, o que significa que a massa específica, neste caso, não é um indicador adequado para explicar o processo de absorção de água do ambiente pela madeira. Na Figura 2 encontram-se a análise de regressão linear simples para a madeira de *Caesalpinia echinata*.

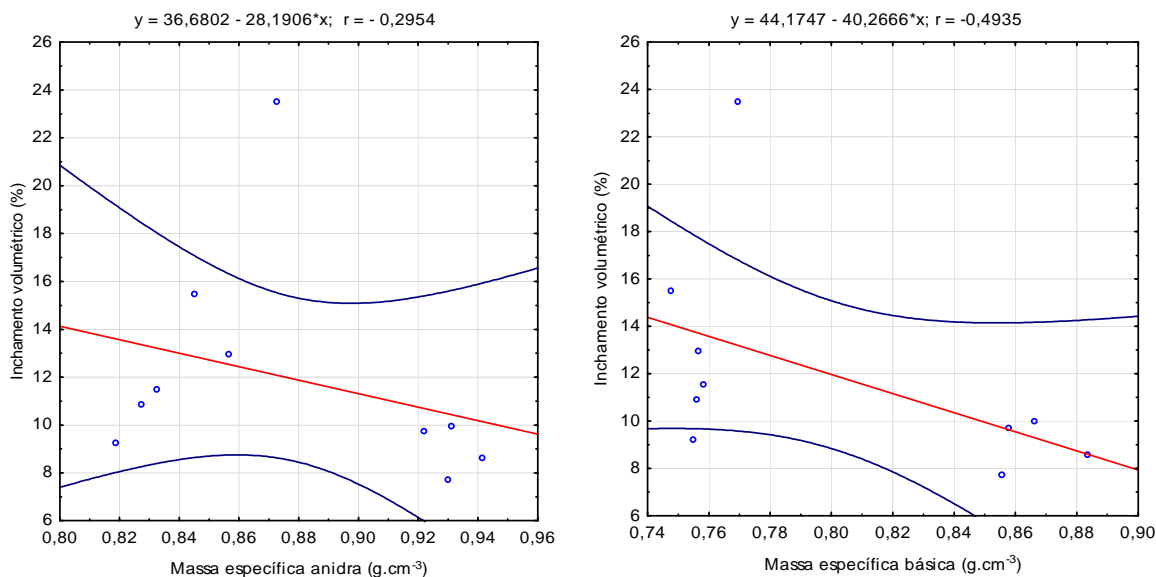


FIGURA 2. Regressão linear simples entre o inchamento volumétrico da madeira de *Caesalpinia echinata* em função da massa específica anidra e básica. Reto vermelha: linha de tendência, curva azul: intervalo de confiança 95%.

De acordo com a Figura 2, nota-se que existe uma baixa e negativa relação

entre massa específica e inchamento volumétrico, fato não observado anteriormente para a madeira de *Eucalyptus* sp. Esta relação foi mais evidente para a massa específica básica. Na Figura 3 encontram-se a análise de regressão linear simples para a madeira de *Cordia* sp.

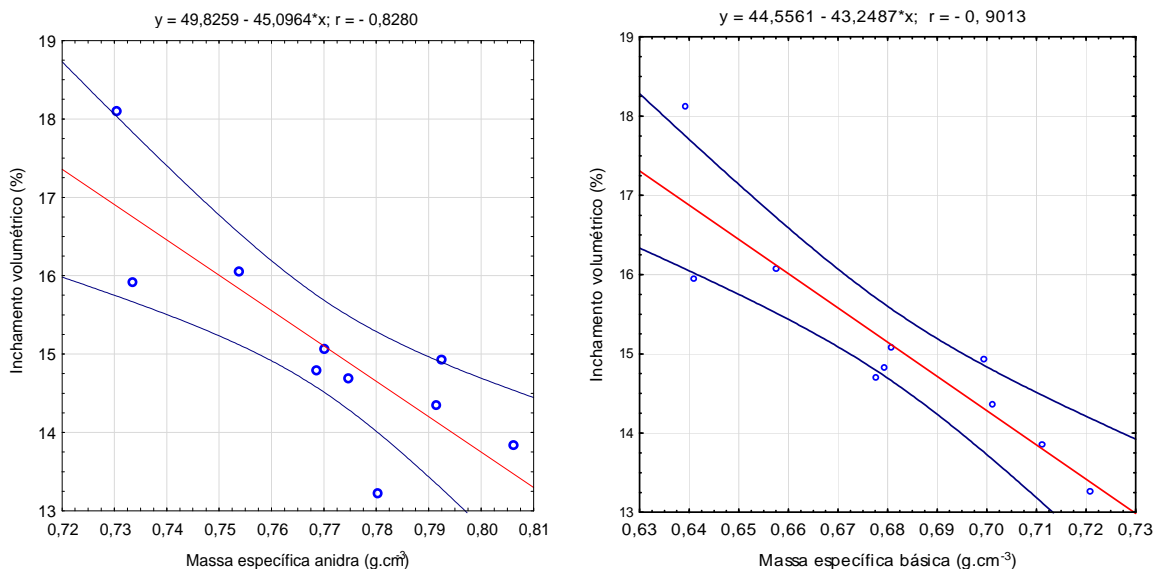


FIGURA 3. Regressão linear simples entre o inchamento volumétrico da madeira de *Cordia* sp., em função da massa específica anidra e básica. Reto vermelha: linha de tendência, curva azul: intervalo de confiança 95%.

Observa-se na Figura 3 que para ambas as massas específicas estudadas ocorreram correlações negativas e altas para a madeira de *Cordia* sp., fato observado por esta espécie possui a menor massa específica dentre as madeiras estudadas, ou seja, o inchamento volumétrico diminui em madeiras menos densas. Na Figura 4 consta a dispersão dos pontos para a análise de regressão para a madeira de *Manilkara* sp.

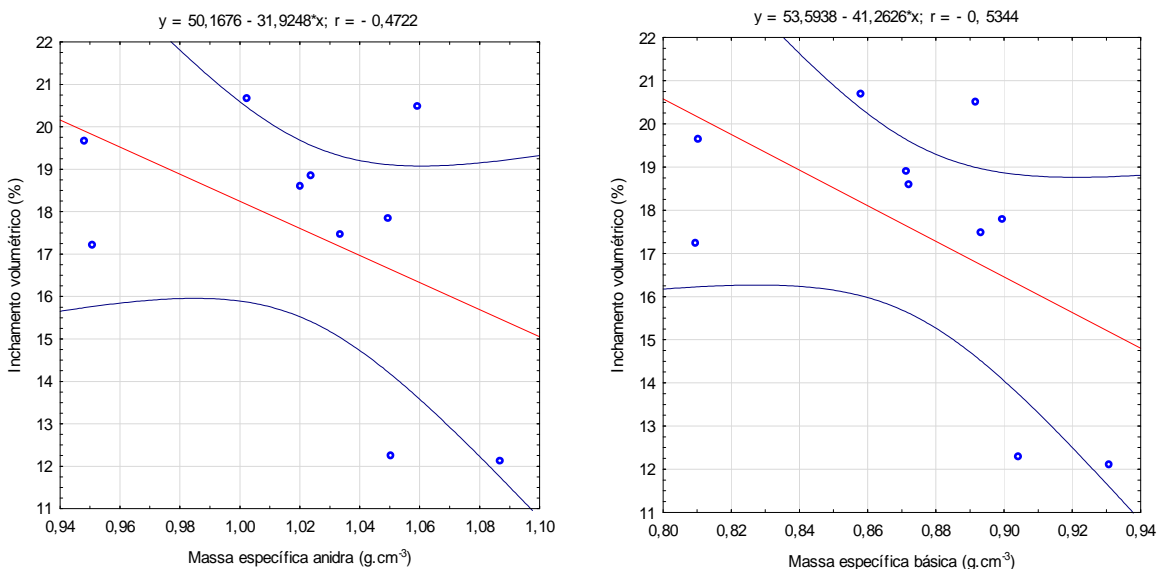


FIGURA 4. Regressão linear simples entre o inchamento volumétrico da madeira de *Manilkara* sp., em função da massa específica anidra e básica. Reto vermelha: linha de tendência, curva azul: intervalo de confiança 95%.

Nota-se na Figura 4 que em ambas as massas específicas estudadas as correlações foram negativas, fato observado anteriormente para as espécies *Caesalpinia echinata* e *Cordia* sp.

CONCLUSÕES

A madeira de *Eucalyptus* sp possui os maiores valores de massa específica básica e anidra, provavelmente, em virtude da idade do plantio florestal de 40 anos de idade.

O inchamento nas direções estruturais e o inchamento volumétrico foi maior na madeira de *Eucalyptus* sp., sendo a única espécie estudada que apresentou coeficientes de correlações positivos entre estas variáveis e a massa específica.

As espécies *Caesalpinia echinata*, *Cordia* sp., *Manilkara* sp., apresentaram coeficientes correlações negativos entre inchamento volumétrico e massa específica.

As características anatômicas e químicas da madeira podem estar influenciando os resultados das correlações apresentadas neste trabalho, visto que, são fatores que diretamente proporcionam maior ou menor quantidades adsorvidas na madeira.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-11941**: Determinação da densidade básica em madeira. Rio de Janeiro; 2003.

BATISTA, D. C.; KLITZKE, R. J.; SANTOS, C. V. T. Densidade básica e retratibilidade da madeira de clones de três espécies de *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 4, p. 665-674, 2010.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Disponível em: <http://www.ipt.br/informacoes_madeiras/4.htm>. Acesso em: 4 de agosto de 2014.

MARQUES, S. S; OLIVEIRA, J. T. S; PAES, J. B; ALVES, E. S, SILVA; A. G; FIEDLER, N. C. Estudo comparativo da massa específica aparente e retratibilidade da madeira de Pau-Brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.) nativa e de reflorestamento. **Revista árvore**, v. 36, n.2, p. 373-380, 2012.

MATTOS, B. D.; GATTO, D. A.; STANGERLIN, D. M.; CALEGARI, L.; MELO, R. R.; SANTINI, E. J. Variação axial da densidade básica da madeira de três espécies de gimnospermas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, n.1, p. 121-126, 2011.

MELO, R. R.; SILVESTRE, R.; OLIVEIRA, T. M.; PEDROSA, T. D. Variação radial e longitudinal da densidade básica da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. com diferentes idades. **Ciência da Madeira**, v. 4, p. 83-92, 2013.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. 1997. 2 v. 429 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

PANSHIN, A. J.; De ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 3.ed. New York: McGraw Hill, 1980. 722p.

SHMULSKY, R; JONES, P. D. **Forest products & wood Science and introduction**. 6. ed. New Jersey: Wiley-Blackwell, 2011. 483p.

SIMPSON, W.; TENWOLDE, A. Physical properties and moisture relations of wood. In: FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood Handbook**: wood as an engineering material. Madison, USA: Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. 509p.