



III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

EXTENSIOMETRIA APLICADA À MEDIÇÃO DA DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL EM TÁBUAS VERDES DE *Corymbia citriodora*

José Sánchez¹

José Tarcísio Lima¹

José Reinaldo Moreira da Silva²

Carlos Henrique da Silva¹

¹ Universidade Federal de Lavras

² Universidade Federal de Lavras / Departamento de Ciências Florestais



III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

EXTENSIMETRIA APLICADA À MEDIÇÃO DA DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL EM TÁBUAS VERDES DE *Corymbia citriodora*

RESUMO: A Deformação Residual Longitudinal (DRL) é decorrente das tensões de crescimento, que são características naturais presentes na maioria das árvores. A DRL pode ser medida nas árvores vivas, em toras ou em peças serradas, embora seja comum apenas medi-la em árvores. Entretanto, o conhecimento da DRL em peças serradas é importante para interpretar possíveis defeitos pós-desdobro e pós-secagem. O objetivo neste estudo foi avaliar as deformações residuais longitudinais resultantes das tensões de crescimento em tábuas verdes de *Corymbia citriodora*. Foram utilizadas 16 tábuas com cerca dos 60 anos de idade, provenientes do plantio da Universidade Federal de Lavras. Foi utilizado o método do extensômetro que consiste em medir com um relógio comparador o afastamento de dois pinos fixados no sentido da grã, inicialmente distantes 45 mm um do outro na superfície da tábua. Para promover a movimentação dos pinos, foi feito um furo entre os pinos com uma broca. Também foi determinada a densidade básica e a umidade da madeira em cada posição onde foram feitas as medições das DRLs. As deformações residuais longitudinais (DRLs) decorrentes das tensões de crescimento para madeira de *C. citriodora*, quando avaliadas em tábuas em estado verde foi de 20 μm , relativas à densidade básica média de 0,83 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ e umidade média de 33%. Esses valores de DRL medidos em tábuas foram cerca de 1/5 das DRL medidas em árvores, reportados na literatura. Foi constatado que o extensômetro é uma ferramenta viável para determinação da DRL em tábuas serradas.

Palavras-chaves: Deformação Residual Longitudinal, Tensões de Crescimento, Extensômetro, *Corymbia citriodora*, Tábuas.

EXTENSOMETRY APPLIED TO MEASUREMENT OF LONGITUDINAL RESIDUAL STRAIN IN GREEN LUMBERS OF *Corymbia citriodora*

ABSTRACT: The residual longitudinal strain (DRL) is due to the growth stresses, which are natural characteristics present in most trees. DRL can be measured on live trees, logs or sawn pieces, although it is common to measure them only on trees. However, knowledge of DRL in sawn pieces is important in interpreting possible post-sawing and post-drying defects. The objective of this work was to evaluate the application of the dial gage to measure the longitudinal residual strains resulting from growth stresses in green boards of *Corymbia citriodora*. Sixteen boards with about 60 years of age were used. The extensometry, which consists of measuring with a dial gage, the spacing of two pins fixed in the direction of the grain initially apart 45 mm from each other on the surface of the board. To promote the movement of the pins, a hole was drilled between the pins with a drill bit. The basic density and moisture of the wood were also determined at each position where DRL measurements were made. The longitudinal residual strains (DRL) due to growth stresses for *C. citriodora* wood when evaluated in green boards was 20 μm relative to the mean basic density of 0.83 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ and a mean moisture content of 33%. These DRL values measured on green lumbers were about 1/5 of the DRL measured in trees reported in the literature. It was possible to verify that the dial gage is a viable tool for determining the DRL in sawn boards.

Key-words: Longitudinal Residual Strain, Growth Stresses, Dial Gauge, *Corymbia citriodora*, Lumbers.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

1. INTRODUÇÃO

Corymbia citriodora é uma espécie que apresenta madeira com alta densidade básica, alta resistência mecânica (BERTOLA, 2004), alta estabilidade dimensional e baixa permeabilidade (SILVIA et al., 2010).

As tensões de crescimento são características naturais presentes na maioria das árvores, tanto em folhosas como em coníferas. Souza (2002) define essas tensões como esforços mecânicos gerados na árvore durante seu crescimento, promovendo equilíbrio no tronco da árvore em pé, ajudando a manter a estabilidade da árvore. Nas folhosas, como no gênero *Eucalyptus*, as tensões de crescimento são mais acentuadas do que nas coníferas (BELTRAME et al., 2012).

De forma geral, na madeira existem esforços internos e externos causadas tanto por fatores naturais como por fatores externos. Segundo Dinwoodie (1966), as tensões de crescimento ocorrem antes das árvores serem derrubadas, portanto, são diferentes das tensões e deformações que ocorrem na madeira como resultado de um processo de secagem.

Para a determinação das deformações causadas pelas tensões de crescimento em tábuas pode ser utilizado um extensômetro conforme o empregado por Lima et al. (2004) para determinar a Deformação Residual Longitudinal (DRL) em árvores em pé. Ressalta-se que não se identificou na literatura trabalho que utilize esse método para medir deformações em madeira serrada. Estes aparelhos determinam indiretamente as tensões residuais, quando as tensões são liberadas do material, normalmente utilizando-se extensômetros de resistência para medição de deformações superficiais (KOBAYASHI, 1993).

Neste trabalho, o principal objetivo foi verificar a aplicação do extensômetro para determinação das deformações residuais longitudinais (DRLs), resultantes de tensões de crescimento, em tábuas verdes de *Corymbia citriodora*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho foram selecionadas e medidos os diâmetros à altura do peito (DAP) de três árvores eretas E1, E2 e E3 de *Corymbia citriodora* que apresentavam cerca de 60 anos de idade na época do corte.

Após a derrubada das árvores, toras da base de cada tronco foram desdobradas tangencialmente, deixando para uso principal o bloco central com 20 cm de espessura e três metros de comprimento. Do bloco 16 tábuas cortadas com 300 x 20 x 2,5 cm (comprimento x largura x espessura) foram utilizadas.

Para a medição da Deformação Residual Longitudinal, foi utilizado o método do extensômetro que consiste em medir, com um relógio comparador, o afastamento de dois pinos fixados na tábua distantes a 45 mm um do outro na direção das fibras, após liberação das tensões. Para promover essa liberação e consequente movimentação dos pinos, foi feito um furo com uma broca de 20 mm de diâmetro na metade da distância entre eles, como descrito por Lima et al. (2004) para medição da DRL em árvores.

Em cada tábua com 300 x 20 x 2,5 cm foram marcados três pontos (A, B, C) para a medição da DRL. Ao lado de cada ponto foram cortadas as Amostras para Determinação de Umidade da madeira (ADU), imediatamente após a medição das DRLs (Figura 1).

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

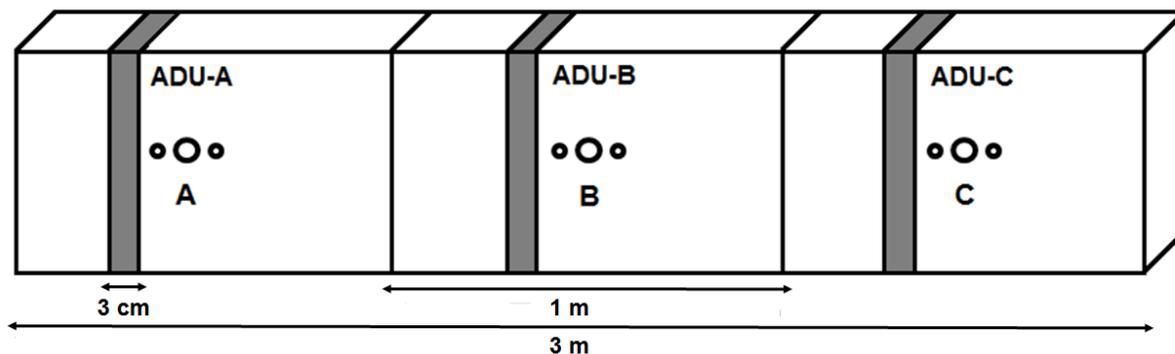


Figura 1. Diagrama da tábua com a marcação dos pontos para a medição das deformações residuais longitudinais e amostragem para controle da umidade.

Para medição das DRLs, as tábuas foram apoiadas em uma base metálica, dividida em secções, para evitar possível flexão da tábua e alteração das leituras no mostrador (Figura 2).



Figura 2. Base de apoio para as tábuas de madeira.

Fonte: o autor.

A Figura 3 mostra as marcas das posições relativas dos pinos e o furo central realizado com o extensômetro para liberação das tensões.



Figura 3. Representação do furo feito pelo extensômetro em uma tábua de madeira.

Fonte: o autor.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

Para a determinação da umidade da madeira, as amostras foram levadas à estufa e permaneceram 48 horas à temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$. As pesagem das amostras foram realizadas antes e após secagem com uma balança de precisão 0,001 gramas para obtenção da massa úmida e seca. Usando esses valores foi possível calcular a umidade base seca.

A densidade básica foi determinada de acordo com a norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 11941-02 (ABNT, 2003).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resultaram os seguintes valores dendrométricos para cada árvore de *Corymbia citriodora*, medidos à altura do peito (DAP), para a árvore ereta 1 (E1) 45,19 cm, para a árvore ereta 2 (E2) 35,49 cm e para a árvore ereta 3 (E3) 60,79 cm.

A espécie *C. citriodora* apresentou densidade básica média igual a $0,83 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, que pode ser considerada como madeira de alta densidade.

A umidade média das tábuas foi igual a 33%, o que pode significar uma baixa umidade inicial da madeira verde. Entretanto, é importante considerar que dada a sua densidade elevada, a madeira de *C. citriodora* apresenta baixo valor de máximo teor de umidade (MTU), em torno de 48%. Sabe-se que a madeira verde, de árvores recém-cortadas, apresenta umidade abaixo do MTU. Com base em Kollmann e Côté (1968), é possível inferir que o ponto de saturação das fibras de madeiras de folhosas, como *C. citriodora*, com alta densidade deve encontrar-se em torno de 20% de umidade.

Na Tabela 1 observa-se os valores médios das deformações residuais longitudinais (DRLs) obtidos nas tábuas em estado verde, resultantes das tensões de crescimento medidos com auxílio do extensômetro. A DRL média encontrada nas tábuas foi igual $20 \mu\text{m}$. Pelos resultados obtidos da DRL, observa-se elevada variação entre as tábuas das três árvores avaliadas, que vão de $0 \mu\text{m}$ até $51 \mu\text{m}$, resultando em um coeficiente de variação igual a 60%.

A comparação dos resultados obtidos neste trabalho, com os de outros autores que mediram DRL em árvores, mostram grandes diferenças. Lima et al. (2015) trabalhando com *Corymbia citriodora* encontraram deformações residuais longitudinais associadas às tensões de crescimento, em média igual a $106 \mu\text{m}$. O valor de DRL médio das tábuas (Tabela 1) é cerca de 1/5 do valor de DRL encontrado nas medições das árvores. Resultados encontrados por outros autores que pesquisaram DRL em árvores de *Eucalyptus* mostram valores de magnitudes variando de $65 \mu\text{m}$ até $114 \mu\text{m}$ (SOUZA et al., 2003; LIMA et al., 2004; TRUGILHO et al., 2004; CARDOSO JÚNIOR et al., 2005; RODRIGUES et al., 2008; BELTRAME et al., 2012).

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

Tabela 1. Deformação Residual Longitudinal (DRL - μm) em tábuas verdes de três árvores de *Corymbia citriodora*

Amostra	DRL (μm)			Média
	A	B	C	
E1A2	20	28	16	21
E1A4	2,0	51	5,0	19
E1A6	-2,0	39	2,0	13
E1B4	21	10	4,0	12
E2A2	3,0	14	13	10
E2A6	13	-13	-----	0
E3A1	26	13	13	17
E3A3	23	64	66	51
E3A4	17	23	51	30
E3A6	9,0	12	45	22
E3A7	17	8,0	6,0	10
E3A8	13	16	47	25
E3A10	22	4,0	16	14
E3B2	48	23	36	36
E3B4	18	17	13	16
E3B6	15	27	21	21
Média (μm)				20
CV %				60

Onde: **DRL** = deformação residual longitudinal. **CV** = Coeficiente de variação. μm = micrometro

Como a medição de DRL em tábuas usando o extensômetro não é, aparentemente, reportada na literatura, este trabalho tem um caráter inicial e exploratório. É necessário, então, proceder à realização de outros testes, empregando a mesma metodologia. Entretanto, foi possível constatar que o extensômetro é uma ferramenta viável para determinação da DRL em tábuas serradas, com possibilidades, inclusive para medição de tensões de secagem.

4. CONCLUSÕES

As deformações residuais longitudinais (DRLs) médias decorrentes das tensões de crescimentos para madeira de *Corymbia citriodora*, quando avaliadas em tábuas em estado verde foi de 20 μm .

Os valores de DRL medidos em tábuas foram cerca de 1/5 dos valores de DRL medidos em árvores, reportados na literatura.

Foi possível constatar que o extensômetro é uma ferramenta viável para determinação da DRL em tábuas serradas.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fapemig, à CAPES, ao CNPq e à CONACYT pelo apoio prestado ao desenvolvimento deste trabalho.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11941-02 - Determinação da densidade básica em madeira. Rio de Janeiro, 2003. 6p.

BELTRAME, R. et al. Determinação das deformações residuais longitudinais decorrentes das tensões de crescimento em *Eucalyptus spp.* CIÊNCIA FLORESTAL, v. 22, n. 2, p. 343-351, 2012.

BERTOLA, A. Eucalipto - 100 anos de Brasil, "falem mal, mas continuem falando de mim!". 2004. Disponível em < <http://www.celso-foelkel.com.br/> acesso em 30 de out. 2011.

CARDOSO JÚNIOR, A. A. et al. Deformação residual longitudinal em diferentes espaçamentos e idades em clone de híbrido de *Eucalyptus*. CERNE, v. 11, n. 3, p. 218-224, 2005.

DELUCIS, DE A. R. et al. Análise da deformação residual longitudinal e sua relação com propriedades tecnológicas da madeira de *acácia-negra*. REVISTA ÁRVORE, v. 39, n. 3, p. 585-594, 2015.

DINWOODIE, J. M. Growth stresses in timber: a review of literature. FORESTRY, LONDON, v. 39. n. 2, p. 162-70, 1966.

KOBAYASHI, A. S. - "Handbook on experimental mechanics" SEM - SOCIETY FOR EXPERIMENTAL MECHANICS, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA, 1993.

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ, W. A. Principles of wood science and technology: I., solid wood. NEW YORK: SPRINGER, 1968. v. 1, 592 p.

LIMA, J. T. et al. Deformações residuais longitudinais decorrentes de tensões de crescimento em eucaliptos e suas associações com outras propriedades. REVISTA ÁRVORE, v. 28, n.1, p.107-116, 2004.

LIMA, J. T. et al. Deformações residuais longitudinais em *Eucalyptus sp.* e *Corymbia sp.* In: *II Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira* - Belo Horizonte - 20 a 22 set 2015.

RODRIGUES, E. A. C. et al. Seleção de clones de *Eucalyptus* para as propriedades físicas da madeira avaliadas em árvores no campo. CERNE, v. 14, n. 2, p. 147-152, 2008.

SILVIA, M. R. et al. Permeability measurements of Brazilian *Eucalyptus*. MATERIALS RESEARCH, São Carlos, v. 13, p. 281-286, 2010.

SOUZA, M. A. M. de; TRUGILHO, P. F.; LIMA, J.T.; ROSADO, S. C. da S. Deformação residual longitudinal e sua relação com algumas características de crescimento e da madeira em clones de *Eucalyptus*. *Revista Floresta*, v.33, n.3, p. 275-284. 2003.

SOUZA, M. A. M. Deformação residual longitudinal (DRL) causada pelas tensões de crescimento em clones de híbridos de *Eucalyptus*. 2002. 72 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

TRUGILHO, P. et al. Efeitos da idade e classe diamétrica na deformação residual longitudinal em árvores de *Eucalyptus dunnii Maiden*. REVISTA ÁRVORE, v. 28, n. 5, 725-731, 2004.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO

