

## Métodos não destrutivos para avaliação da durabilidade natural da madeira de *Eucalyptus*

Patrícia S. B. Dos Santos<sup>1\*</sup>, Caroline R. Soares<sup>2</sup>, Julio C. H. Santos<sup>2</sup>, Sabrina Finatto<sup>2</sup>,  
Rafael Beltrame<sup>2</sup>, Darci Gatto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>UFESM- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-Brasil.

<sup>2</sup>UFPEl – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Brasil.

\*E-mail de contato: patricia.bilhalva@hotmail.com

### Resumo

Neste estudo, quatro técnicas de métodos de não destrutivos foram usadas para avaliar a durabilidade natural da madeira de eucalipto exposta a testes de campo de apodrecimento. Foram utilizadas madeiras de dois clones híbridos de *Eucalyptus* expostas em um teste de campo no sul do Brasil para 360 dias. As amostras de madeira foram coletadas a cada 45 dias. As alterações na densidade, a perda de peso, a propagação de ondas, módulo de elasticidade dinâmico e cor foram investigados. Os principais resultados mostraram *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* é mais suscetível à degradação por agentes xilófagos de *Eucalyptus globulus* x *Eucalyptus grandis*. Os maiores valores de perda de peso de madeira foram encontrados após 360 dias de exposição; o módulo de elasticidade dinâmico tendeu a diminuir em função do tempo de exposição e, a variação de cor aumentou com o aumento do tempo de exposição no teste de campo.

**Palavras-chave:** Módulo de elasticidade dinâmico, CIE L\* a\* b\*, Velocidade de propagação.

### 1. Introdução

A madeira é um material natural, versátil e renovável amplamente utilizado em diferentes setores industriais e comerciais. Sua utilização na construção é essencial, e representa uma quota do mercado extremamente significativa em muitos países, especialmente no Hemisfério Norte (ASHORI et al., 2012). A aplicação no exterior é determinada devido à alta suscetibilidade à ação de agentes climáticos (intemperismo) e, conseqüentemente, fotodegradação (FEIST; HON 1984).

Entre os danos causados por intempéries, na superfície as rachaduras podem alterar significativamente as propriedades de madeira e sua durabilidade em serviço. Além disso, a exposição de madeira no aumento interior ou exterior a susceptibilidade aos agentes de xilófagos, que se deterioram componentes químicos de madeira (hemiceluloses, celulose e lignina) e podem afetar sua integridade.

Durabilidade natural da madeira depende da localização geográfica de exposição, uma vez que as condições climáticas e do solo micro influências flora durabilidade em terra. (BRISCHKEET al. 2013). Assim, os testes de campo são uma alternativa interessante para expor a madeira em condições naturais e mais realistas (MEYER et al. 2014).

O eucalipto é uma das madeiras exóticas mais importantes no Brasil. No entanto, durabilidade natural da madeira de eucalipto é comumente inferior a madeiras tropicais. Assim, melhoramentos genéticos de espécies de eucaliptos são necessários para aumentar a qualidade e homogeneidade da madeira.

Este estudo teve como objetivo caracterizar algumas quatro técnicas de métodos de não destrutivos foram usadas para avaliar a durabilidade natural da madeira de eucalipto exposta a testes de campo de apodrecimento. Foram utilizadas madeiras de dois clones híbridos de *Eucalyptus* expostas em um teste de campo no sul do Brasil para 360 dias.

### 2. Material e Métodos

## 2.1 Seleção, preparação de material e instalação de teste de campo

Dois clones híbridos – *Eucalyptus globulus* x *Eucalyptus grandis* (GG) e *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* (UG), com 11 anos de idade foram selecionados a partir de uma plantação homogênea localizado na cidade de Tapes-RS (30°40'24 "S, 51°23'45" W), Brasil.

O pranchão central foi cortado de cada árvore com dimensões de 6 a 8 cm, conforme descrito na norma ASTM D5536-94. As amostras foram confeccionadas e mantidas numa câmara climática (20°C e 65% de umidade relativa) para atingir o conteúdo de umidade de equilíbrio. O teste de campo foi instalado na cidade de Morro Redondo, Rio Grande do Sul (S 31°58'18"; W 52°63'55", o nível do mar de 245 m. De acordo com a classificação de Köppen, o clima no sítio experimental é Cfa (Subtropical Úmido Mild ), sem estação seca e quente de verão, temperatura média durante os meses mais quentes são mais de 22 °C e temperatura média do mês mais frio é menos de 18 °C. A temperatura média anual é de 18,6 °C. A temperatura do solo a 5 cm, é de 20,3 °C e a precipitação média anual é de 1445 mm (Embrapa - CPTAC, 2015). O local de instalação do estudo foi próximo a uma plantação de florestas de *Eucalyptus* spp. com seis anos de idade plantadas com espaçamento de 2 x 3 m. As amostras de madeira foram colocadas em posição vertical, com metade do comprimento (12,5 cm) abaixo do solo, tendo como espaçamento entre amostras de 10 cm e entre os blocos de 100 cm. Sete amostras de madeira de cada espécie foram coletados a cada 45 dias para 360 dias. Todas as amostras foram limpas com uma escova e mantidas numa câmara climática a 20 °C de temperatura e 65% de umidade relativa. A perda de peso (%) foi determinada pela Equação 1.

$$WL(\%) = \frac{(w_i - w_0)}{w_i} * 100 \quad (1)$$

Em que: WL = perda de peso (%),  $W_i$  = peso inicial e  $W_0$  = peso final.

## 2.2 Densidade aparente ( $\rho_{ap}$ )

A densidade aparente foi determinada pela Equação 2, é definida pela razão entre a massa e o volume de corpos-de-prova com uma determinado teor de umidade  $U\%$  nos ensaios realizados se refere a amostras com umidade de 12% (NBR7190/1997).

$$\rho_{12} = m_{12}/V_{12}(\text{g/cm}^3) \quad (2)$$

Em que:

## 2.3 Avaliação ultrassônica

Onda tempo de propagação foi medida por equipamento de ultrassom (m/s). Três leituras no sentido longitudinal foram realizadas utilizando transdutores do tipo ponto secos com frequência de 54 Hz. As amostras de madeira foram ensaiadas antes e depois da exposição ao teste de campo. módulo de elasticidade dinâmico foi determinado utilizando a velocidade de onda de ultrassom ( $V$ ) e a densidade da madeira ( $D$ ) tal como descrito na Eq. 3. A perda de onda de ultrassons foi determinada pela Eq. 4.

$$E_d = V^2 * D \quad (3)$$

$$VL(\%) = (V_i - V_0)/V_i * 100 \quad (4)$$

Em que: VL = perda de velocidade da onda de ultra-som (%)  $V_i$  = velocidade inicial (m/s) e  $V_0$  = velocidade final (m/s).

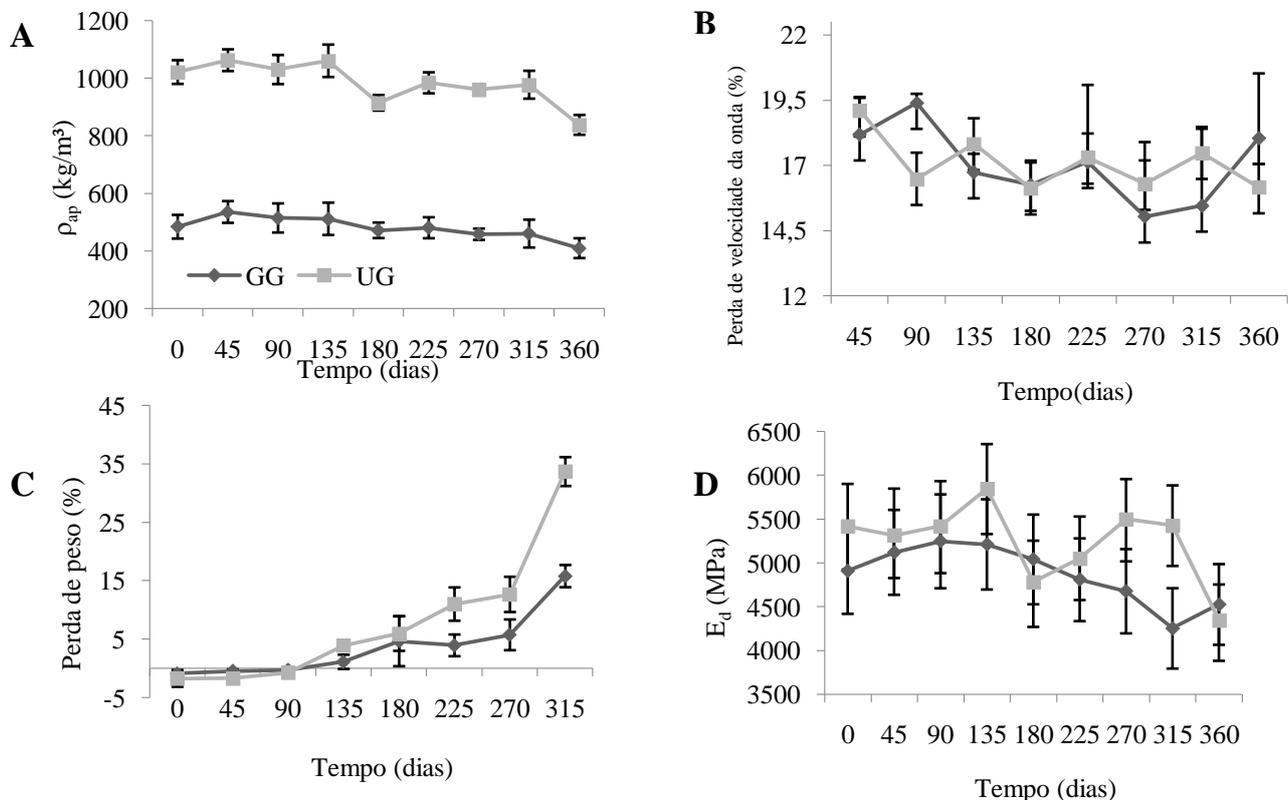
## 2.4 Medição de cor

As mudanças de cor foram medidas na seção radial e tangencial de cinco amostras através do sistema CIE lab (Konica MINOLTA CR-400). Foram medidos os parâmetros:  $L^*$  (Luminosidade),  $a^*$  (cromática verde-vermelho de coordenadas) e  $b^*$  (cromática azul-amarela coordenar) por meio de um sensor de 8 mm de abertura. Os parâmetros colorimétricos foram medidos em três regiões diferentes, acima do solo (região 1), região de afloramento (região 2) e abaixo do solo (3).

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1 Propriedades físicas

A densidade da madeira UG (492,4 kg/ m<sup>3</sup>) foi superior ao valor encontrado na madeira GG (537 kg/m<sup>3</sup>). Ambas as densidades de madeira apresentaram valores semelhantes observados em estudos anteriores (Santos, 2009; Queiroz et al 2004; Milagres, 2009). No entanto, após o teste de campo de apodrecimento a densidade da madeira diminuiu, especialmente após 360 dias de tempo de exposição (Figura 1-A).



**Figura 1**— Densidade, perda de peso, perda de velocidade da onda e  $E_d$  de madeiras de eucalipto em função do tempo de exposição em teste de campo.

A perda de peso das amostras de madeira aumentou com o passar do tempo de exposição (Figura 1-C). Principais alterações na perda de peso de ambas as madeiras ocorreram a partir de 135 dias de exposição. A madeira de UG foi mais suscetível à agentes xilófagos do que a madeira GG. Essa elevada susceptibilidade à cárie pode ser atribuída a condições do solo, clima úmido e abundante presença de organismos xilófagos no ambiente. Em contraste de outros países, o Brasil tem um clima propício para o desenvolvimento destes organismos, o que resulta em alta classificação de decadência.

A perda de velocidade da onda foi semelhante em ambas madeiras (cerca de 16%). Depois da exposição no teste de campo, a elasticidade da madeira tende a diminuir em comparação com a madeira não exposta (Figura 2-B), Liñan et al. (2004) afirmou perda de elasticidade dos 10-30% implica uma manutenção ou substituição de peças de madeira, que podem ser sugeridas para UG e GG deteriorado madeira se em serviço. O módulo de elasticidade dinâmico ( $E_d$ ) apresentou tendência para diminuir como função do tempo de exposição (Figura 1-D). Os menores valores de  $E_d$  foram encontrados após 360 dias de exposição. Esta diminuição de  $E_d$  está de acordo com os resultados encontrados por Mattos et al. (2013).

#### 3.2 Variação de cor

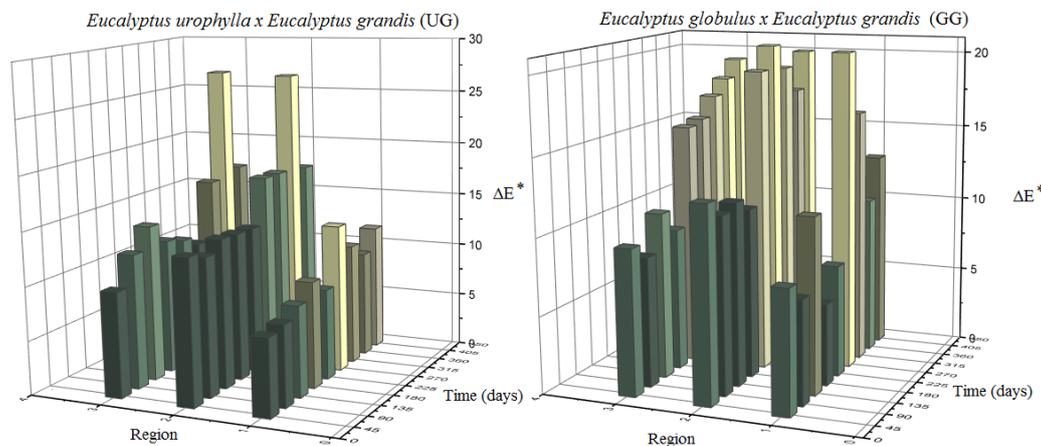
A exposição em testes de campo de apodrecimento por 360 dias influenciou significativamente a cor da madeira (Tabela 1). Em relação ao escurecimento da madeira, é verificado

como uma função do tempo de exposição, como também na região de análise por exemplo na região de afloramento, tende-se a ter maior umidade e, conseqüentemente, maior ataque de fungos apodrecedores, com conseqüente perda de massa, lixiviação dos extrativos, maior deterioração dos constituintes químicos da madeira, e, por fim, elevada variação na cor. Já na região acima do solo que apresenta contato direto com os raios ultravioleta, o escurecimento foi superior com a redução do parâmetro L\*, acredita-se que isso ocorreu devido a deterioração da lignina e extrativos pelos raios UV. A região da madeira próxima a zona de solo foi a região mais afetada na amostra devido à intensa atividade dos agentes dos xilófagos, em comparação com a região 1 e 3.

Tempo (dias)	Região1			Região2			Região3		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
<b>UG</b>									
0	65,20	5,15	15,55	66,19	5,04	15,54	65,21	5,12	15,58
45	60,37	4,95	17,33	53,58	5,19	16,12	55,87	5,26	16,07
90	61,31	4,43	17,09	53,46	5,02	15,97	52,80	5,44	15,91
135	57,63	4,58	16,44	52,13	4,97	15,48	50,26	4,91	14,75
180	57,53	4,12	15,55	52,17	4,68	15,12	55,32	5,37	16,59
225	51,94	4,70	14,70	49,49	4,79	14,01	54,78	4,42	14,84
270	52,35	4,37	14,41	47,52	4,57	12,35	47,33	4,41	12,92
315	58,93	3,69	14,37	43,78	4,73	11,98	44,01	4,90	14,21
360	55,33	4,44	14,86	49,47	5,34	15,02	37,16	7,71	13,46
<b>GG</b>									
0	65,54	4,76	15,12	66,19	5,05	15,07	66,06	4,76	15,14
45	60,74	5,15	17,47	56,49	5,13	16,68	59,05	5,14	17,22
90	59,68	4,80	16,71	57,03	4,93	16,28	58,77	4,64	16,17
135	55,60	4,09	15,36	54,14	4,41	15,04	56,70	4,46	15,83
180	61,42	3,80	15,72	55,02	4,23	14,94	57,31	4,87	15,82
225	58,08	3,72	15,01	47,00	4,96	14,23	54,11	5,49	17,25
270	50,10	5,76	16,34	48,32	5,32	15,29	54,95	3,87	13,68
315	47,63	5,47	13,93	46,41	5,17	13,65	58,68	3,70	13,90
360	55,88	3,95	14,69	46,75	5,02	13,99	46,88	5,27	13,84

**Tabela 1** – Efeito dos parâmetros de cor para duas espécies de madeira como uma função do tempo de exposição.

A variação de cor ( $\Delta E$ ) aumentou com o aumento do tempo de exposição (Figura 2), a madeira UG apresentaram valores AE 7,10-13,7 na região 1. Por outro lado, a variação de  $\Delta E$  na região 1 na madeira GG foi maior do que em UG (7,95-20,65). Na Região 1 (acima do solo) apresenta alta variação de cor devido à exposição a agentes dos xilófagos e intempéries. Da mesma forma, a região 2 (zona solo) apresentou alta variação de cor, porque é a posição com intensa deterioração por micro-organismos. A madeira de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* foi mais suscetível à biodegradação por agentes xilófagos que a madeira de *Eucalyptus globulus* x *Eucalyptus grandis*.



**Figura 2**— Variação de cor ( $\Delta E$ ), de madeira de eucalipto como uma função do tempo de exposição.

#### 4. Conclusões

Com os resultados obtidos neste trabalho, conclui-se que os métodos não destrutivos, apresentam excelentes resultados para avaliação de amostras de madeiras expostas a ensaios de campo. A madeira GG apresentou menor perda de massa, conseqüentemente possui também a maior durabilidade natural, devido a sua estabilidade dimensional ser maior quando comparada a madeira CG. No entanto, quando comparadas pela deterioração, não constatou-se diferença significativa.

#### 5. Agradecimentos

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES Proc. Nº.88887.118467/2016-00).

#### Referências

ASHORI, A.; TABARSA, T.; AMOSI, F. Evaluation of using waste timber railway sleepers in wood-cement composite materials. **Construction and Building Materials**, v.27, n.1, p.126-129, 2012.

ASTM International, American Society for Testing and Materials, ASTM D5536-94-Standard method of Sampling Forest Trees for Determination of Clear Wood Properties, Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, PA, USA; 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997). NBR 7190 – Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro.

BRISCHKE, C., MEYER, L., OLBERDING, S. Durability of wood exposed in ground e Comparative field trials with different soil substrates. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v.86, p.108-114, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Dados meteorológicos. Laboratório de Agrometeorologia. Disponível em: <<http://www.cpact.embrapa.br/agromet/>>. Acesso em: 08/06/ 2015.

FEIST, WILLIAM C.; Hon, Dn-S. Chemistry of weathering and protection. **Advances in chemistry series**, v. 207, p.401-451, 1984.

LIÑÁN, C. R.; HITTA, P. R.; CÓZAR, J. C. G.; GÁLVEZ, F. P. Diagnóstico mediante técnicas de ultrasonidos del forjado de madera del refectorio del convento de santa clara en Carmona (Sevilla). **Informes de La Construcción**, V.55, n.490, p. 17-28, 2004.

MATTOS, B. D., GATTO, D. A., DE CADEMARTORI, P. H. G., STANGERLIN, D. M., & BELTRAME, R. Durabilidade a campo da madeira de três espécies de *Eucalyptus* tratadas por imersão simples. **Brazilian Journal of Agricultural Sciences**, v.8, n.4, p. 648-655, 2013.

MEYER, L., BRISCHKE, C., MELCHER, E., BRANDT, K., LENZ, M.T., SOETBEER, A. Durability of English oak (*Quercus robur* L.) - Comparison of decay progress and resistance under various laboratory and field conditions. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v.86, p. 79-85, 2014.

MILAGRES, F. R. Avaliação da madeira de híbridos de *Eucalyptus globulus* com *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, para produção de celulose, utilizando espectroscopia, Dissertação (Magister Scientiae), Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2009.

QUEIROZ, S. C. S., GOMIDE, J. L., COLODETTE, J. L., & OLIVEIRA, R. D. Influência da densidade básica da madeira na qualidade da polpa Kraft de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Revista Árvore**, p.28, n.6, p.901-909, 2004.

ROWELL, R. M. Chemical modification of wood: it's application to composite products. **FRI Bulletin**, Bogor, n. 153, p. 57-67, 1990.

SANTOS, S. R., **Influência da qualidade da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* do processo Kraft de polpação na qualidade de polpa branqueada.** Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.