

Permeabilidade longitudinal ao ar e água da madeira de *Pinus elliottii*

Daiane Moura de Borges Maria¹; Letícia da Silva Moreira¹; Juliano José Mota da Rocha¹; Evelize Aparecida Amaral¹; Claudinéia Olímpia de Assis¹; José Tarcísio Lima¹

¹Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira / Universidade Federal de Lavras

Resumo: O trabalho teve como objetivo analisar a permeabilidade longitudinal ao ar e água em madeira de *Pinus elliottii*. A madeira foi oriunda de um plantio experimental de 23 anos de idade. A partir do pranchão central foram obtidas amostras retiradas em posição radial interna e externa do tronco. As peças prismáticas foram torneadas em forma de cilindro e, posteriormente, após impermeabilização da lateral, foram serrados e obtidos os corpos de prova. A permeabilidade ao ar e a água foi calculada utilizando-se a lei de Darcy. A madeira apresentou permeabilidade ao ar variando entre 11,17 e 14,67 cm³.(cm.atm.s)⁻¹, e a água entre 0,0073 e 0,0025 cm³.(cm.atm.s)⁻¹. Houve baixa permeabilidade ao ar e água, devido possivelmente a um elevado teor de extrativos e obstrução dos elementos anatômicos da madeira.

Palavras-chaves: Permeabilidade ao gás, permeabilidade ao líquido, fluxo na madeira

Longitudinal water and air permeability of *Pinus elliottii* wood

Abstract: The aim of this work was to analyze the longitudinal permeability to air and water of *Pinus elliottii* wood. The material was obtained from a 23-year-old experimental plantation. From the central board were obtained samples in the internal and external radial position of the stem. The prismatic sections were turned into cylinder form and, after sealing the side, the pieces were sectioned and then obtained the specimens. The air and water permeability was calculated using Darcy's law. The wood presented permeability to the air varying between 11.17 and 14.67 cm³ (cm.atm.s)⁻¹, and water from 0.0073 to 0.0025 cm³ (cm.atm.s)⁻¹. There was low permeability to air and water, possibly due to a high extractive content and obstruction of the wood anatomical elements.

Keywords: Permeability to gas, Permeability to liquid, Flow in wood

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento da permeabilidade da madeira é de grande importância nos processos industriais madeireiros, pois demonstra a condução dos fluídos na madeira, e está diretamente ligada a taxa de secagem da madeira, no processo de polpação, em adesivos e tratamento

preservante de madeira com produtos químicos (Hansmann et al., 2002).

Quanto maior a permeabilidade de determinada madeira, mais facilmente esta poderá ser tratada, seca e processada, uma vez que a permeabilidade compreende a penetração de ar ou um líquido nos poros das células da madeira ligados em seu fluxo subsequente através dos capilares (Tarmian; Perré, 2009).

Mesmo sendo de suma importância na utilização da madeira, a permeabilidade atualmente ainda é pouco estudada. Estudos sobre a atuação da permeabilidade em processos são relevantes, pois possibilita o alcance de produtos com alta qualidade. Nesse sentido, o objetivo do trabalho foi analisar a permeabilidade longitudinal ao ar e água na madeira de *Pinus elliottii* com 23 anos de idade.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Obtenção do material

Foi utilizada madeira de uma árvore de *Pinus elliottii*, proveniente de plantio experimental com 23 anos de idade localizado na Universidade Federal de Lavras (UFLA) na cidade de Lavras - MG.

2.2 Preparo dos corpos de provas

Foram obtidos pranchões com 3 metros de comprimento, de onde foram amostradas a região da medula e próxima à casca (interna e externa). Os pranchões foram transformados em sarrafos medindo 3 cm x 3 cm x 100 cm de largura, espessura e comprimento, respectivamente. Os sarrafos foram torneados para atingirem forma cilíndrica, com dimensão de 20 mm de diâmetro, seguindo-se a metodologia de Baraúna (2014).

Em seguida, as amostras foram acondicionadas em sala climática à temperatura de $(20 \pm 3)^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $(60 \pm 5) \%$ até estabilização da massa. Posteriormente, foi realizada a impermeabilização das amostras com adesivo epóxi. Somente a superfície lateral dos corpos de prova foi impermeabilizada, para garantir a permeabilidade somente pelas extremidades, uma vez que objetivou-se determinar o fluxo longitudinal nos ensaios de permeabilidade ao ar e à água.

Após o período de cura do adesivo, as peças foram cortadas e obtidos corpos de prova de 5 cm de comprimento, obtendo-se o total de 300 amostras.

2.3 Ensaio de permeabilidade ao ar

As seções transversais dos corpos de prova foram limpas com uma navalha afiada para desobstruir os poros resultantes do processo de serragem. Posteriormente, foram ligados por mangueiras de silicone, vedados com cola quente e com ajuste de braçadeiras metálicas. Em uma

das extremidades do corpo de prova, foi aplicada a sucção por meio de uma bomba de vácuo e a outra extremidade do corpo-de-prova foi ligado a três rotâmetros conectados em série, responsáveis por fazer a leitura da vazão do ar. As escalas de sequência dos rotâmetros foram de 10 a 100l/h, 10 a 180l/h e 100 a 1100l/h.

A leitura da vazão de ar foi obtida nos rotâmetros de acordo com o momento em que o fluxo e a pressão final se apresentaram constante. A equação da Lei de Darcy foi utilizada para o cálculo da permeabilidade ao ar da madeira (Equação 1):

$$K_{ar} = \frac{Q \times L \times P}{A \times \Delta P \times P} \quad (1)$$

Em que:

K_{ar} = permeabilidade ao ar, $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{atm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$; L = comprimento na direção do fluxo, cm; P = pressão inicial, atm; A = área seccional do corpo de prova, cm^2 ; ΔP = diferencial entre pressão inicial e final, atm; P = média aritmética entre pressão inicial e final, atm; Q = vazão obtida no rotâmetro, $\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

2.4. Ensaio de permeabilidade a água

Baseado no método adotado por Silva (2007) e adaptado por Baraúna (2014), o ensaio de permeabilidade à água foi realizado com auxílio de uma bureta graduada de 50 ml de capacidade, um conjunto de rolhas no qual o corpo de prova é colocado, com uma das faces submetida à sucção em uma junta cônica de vidro e a outra extremidade da amostra conectada à bureta.

O cálculo da permeabilidade à água da madeira foi realizado segundo a equação da Lei de Darcy apresentada na Equação 2:

$$K_L = \frac{V \times L}{t \times A \times \Delta P} \quad (2)$$

Em que:

K_L = Permeabilidade à água, $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{atm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$; V = volume do líquido escoado, cm^3 ; L = comprimento na direção do fluxo, cm; t = tempo de escoamento do líquido, s; A = área da seção transversal, cm^2 ; ΔP = diferencial de pressão entre inicial e final, atm.

2.5 Análise dos dados

Os resultados foram avaliados por meio de estatística descritiva, com determinação dos valores médios de permeabilidade ao ar e água com seus respectivos valores mínimo e máximo e coeficientes de variação.

3. RESULTADOS

Para os testes de permeabilidade ao ar, foram observados índices de permeabilidade bastante oscilantes, com valores variando entre 0 e 47,59 ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{atm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$), com maior valor médio obtido para a região externa do tronco (Tabela 1).

Tabela 1. Permeabilidade longitudinal ao ar da madeira de *Pinus elliottii*

Permeabilidade ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{atm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)	Externa	Interna
Média	14,27	10,47
Máximo	34,95	47,59
Mínimo	0	0
Coefficiente de variação (%)	57	92,45

Os resultados obtidos no ensaio de permeabilidade longitudinal à água encontram-se apresentados na Tabela 2. Os maiores resultados médios foram encontrados também para a madeira da região externa do tronco.

Tabela 2. Permeabilidade longitudinal a água da madeira de *Pinus elliottii*

Permeabilidade ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{atm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)	Externa	Interna
Média	0,0025	0,0073
Máximo	0,0032	0,0114
Mínimo	0,00177	0,00531
Coefficiente de variação (%)	21,87	29,51

4. DISCUSSÃO

Os valores médios encontrados para permeabilidade longitudinal ao ar interna e externa foram inferiores ao encontrado por Magalhães (2004) ao estudar a mesma espécie, com valores em torno de $23,7 \cdot 10^{-9} \text{ cm}^3/\text{m} \cdot (\text{N}/\text{m}^2) \cdot \text{s}$. Rice e Onofrio (1996) também registraram valores superiores, determinando a permeabilidade ao ar da madeira de *Pinus strobus*, encontraram valor médio de $22,5 \cdot 10^{-9} \text{ cm}^3/\text{m} \cdot (\text{N}/\text{m}^2) \cdot \text{s}$. Baraúna et al. (2014), avaliando a espécie amapá, folhosa amazônica, encontraram permeabilidade longitudinal ao ar igual a $64,53 \text{ cm}^3 \cdot (\text{cm} \cdot \text{atm} \cdot \text{s})^{-1}$ e à água de $2,10 \text{ cm}^3 \cdot (\text{cm} \cdot \text{atm} \cdot \text{s})^{-1}$.

Para ambas as posições, externa e interna os valores registrados para permeabilidade ao líquido e ar foram baixos e inferiores ao encontrados em literatura para *Pinus*. Isso pode estar associado às características anatômicas da madeira. Segundo Siau (1984), o tamanho, distribuição e número de elementos condutores e, principalmente, a presença de obstruções dessas estruturas atuam consideravelmente na permeabilidade da madeira.

Outra resposta para este comportamento pode estar relacionada a presença de extrativos, o que pode dificultar o fluxo de água através da madeira. Segundo Taghiyari et al. (2010), a permeabilidade da madeira comumente é diferente dentro da árvore e sua diminuição ocorre provavelmente devido ao aumento da quantidade de extrativos e obstrução de elementos anatômicos condutores da madeira.

Através de observação macroscópica foi visualizado estrutura bastante obstruída na madeira estudada, o que pode ter influenciado diretamente os resultados obtidos nos testes para permeabilidade. Visto que ocorreram baixas vazões tanto ao ar como líquida, provavelmente devido a um alto teor de extrativos, assim como a obstrução dos elementos anatômicos da madeira, são necessárias análises anatômica e química para verificar correlações entre as características. Monteiro (2014) avaliando o efeito da anatomia no fluxo de água na madeira de *Eucalyptus* e *Corymbia* observou que o diâmetro e o comprimento dos vasos afetam a taxa de fluxo de água livre na madeira, enquanto que a frequência de vasos influencia na taxa de fluxo de água adsorvida.

De acordo com Rezende et al. (2018), não somente fatores internos à madeira afetam o fluxo e a permeabilidade, sendo o tipo de fluido utilizado no ensaio um fator relevante para verificar a permeabilidade do material. Dessa forma, faz-se interessante a realização de testes com utilização de outros materiais menos densos que os utilizados neste estudo (água e ar atmosférico), analisando-se a influência destes no fluxo pela madeira.

5. CONCLUSÕES

Pinus elliottii apresentou baixa permeabilidade ao ar com valores entre 14,27 a 14,67 $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{atm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$.

A permeabilidade a água da madeira estudada foi de 0,0073 e 0,0025 $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{atm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ para as posições interna e externa, respectivamente.

Ocorreram baixas vazões ao ar e água, possivelmente devido a um elevado teor de extrativos e obstrução dos elementos anatômicos da madeira.

6. REFERÊNCIAS

Baraúna EEP, Lima JT, Vieira RS, Silva JRM, Monteiro TC. Efeito da estrutura anatômica e química na permeabilidade da madeira de Amapá. **Cerne**, 20(4): 529-534, 2014.

Hansmann C, Gindl W, Wimmer R, Boku AT. Permeability of wood – a review. **Drevarsky Vyskum**, 47(4): 1-16, 2002.

Magalhães WLE. Tratamento mecânico visando o aumento da permeabilidade em madeira de *Pinus elliottii* Engelm Var. *elliottii*. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 9., 2004, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: UFMT, 2004.

Monteiro TC. **Efeito da anatomia no fluxo de água em madeira de *Eucalyptus* e *Corymbia***. 2014. 130 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

Rezende RN, Lima JT, Paula LER, Hein PRG, Silva JRM. Wood Permeability in *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus dunnii*. **Floresta e Ambiente**, 25(1): 228-235, 2018.

Rice RW, Onofrio M. Longitudinal gas permeability measurements from Eastern white pine, Red Spruce, and Balsam Fir. **Wood and Fiber Science**, 28 (3): 301-308, 1996.

Siau JF. **Flow in wood**. Syracuse: Syracuse University, 1971, 131 p.

Siau JF. **Transport Processes in Wood**. New York: Springer Wood Science, 1984, 245p.

Silva RM. **Determinação da permeabilidade em madeiras brasileiras de florestas plantadas**. 2007. 135p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

Taghiyari HR, Karimi A, Parsapajouh D, Pourtahmasi K. Study on the longitudinal gas permeability of juvenile wood and mature wood. **Special Topics & Reviews in Porous Media — An International Journal**, 1(1): 31-38, 2010.

Tarmian A, Perré P. Air permeability in longitudinal and radial directions of compression wood of *Picea abies* L. and tension wood of *Fagus sylvatica* L. **Holzforschung**, 63(3): 352-356, 2009.