

Densidade básica da madeira jovem de *Pinus taeda* em diferentes regiões do Sul do Brasil

Thyanne Caroline Castor Neto¹; Vaniele Bento dos Santos¹; Glaycianne Christine Vieira dos Santos Ataíde¹; Matheus Severo de Souza Kulmann²; Mauro Valdir Schumacher³; Graziela Baptista Vidaurre¹

¹ Departamento de Ciências Florestais e da Madeira (DCFM), Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Jerônimo Monteiro/ES, Brasil; ² Instituto de Agronomia (IA), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica/RJ, Brasil; ³ Departamento de Ciências Florestais (DCFL), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria/RS, Brasil – neto.thyanne@outlook.com

Resumo: O *Pinus taeda* L. é a principal espécie de conífera utilizada na região sul do Brasil. O objetivo foi investigar o impacto do local de cultivo na densidade básica da madeira de árvores jovens de *Pinus taeda* no Sul do Brasil. Para 80 árvores jovens de *Pinus taeda*, com idades variando de 11 a 13 anos, foram amostradas em cinco sítios da região Sul do Brasil. A densidade básica foi determinada pela relação da massa seca pelo volume saturado nos discos de seis posições das árvores, no DAP e a 25%, 50% e 75% da altura comercial. Os sítios que apresentaram maior densidade básica da madeira também mostraram níveis mais elevados de estresse hídrico. A variabilidade da densidade básica apresentou uniformidade na direção base-topo. A variável geada apresentou relação direta com o IMA, indicando que a espécie está adaptada ao clima da região.

Palavras-chave: Qualidade da madeira, lenho juvenil, variáveis climáticas.

Basic density of juvenile wood of *Pinus taeda* in different regions of Southern Brazil

Abstract: *Pinus taeda* L. is the main conifer species used in southern Brazil. This study aimed to investigate the impact of cultivation location on the basic density of wood of young *Pinus taeda* trees in Southern Brazil. Eighty young *Pinus taeda* trees, aged 11 to 13 years, were sampled from five sites in southern Brazil. Basic density was determined by the ratio of dry mass to saturated volume in the disks of six positions of the trees, at DBH and 25%, 50%, and 75% of commercial height. Sites that presented higher basic wood density also showed higher levels of water stress. Basic density variability was uniform in the base-to-top direction. The frost variability was correlated with the MAI, suggesting the species is well-suited to the local climate conditions.

Keywords: Wood quality, juvenile wood, climate variables.

1. INTRODUÇÃO

O *Pinus taeda* L. se destaca como a espécie de conífera dominante na indústria florestal (Braga *et al.*, 2020), principalmente na região Sul do Brasil. Isso ocorre não apenas devido às condições climáticas favoráveis do país, mas também à adoção de práticas florestais avançadas que contribuíram significativamente para o crescimento e produtividade bem-sucedidos dessa espécie (Moro *et al.*, 2014; Consalter *et al.*, 2021; Kulmann *et al.*, 2023).

O *Pinus taeda* apresenta uma madeira de alta qualidade e versatilidade em seus usos finais, dentre eles, destacam-se a produção de celulose de fibra longa, madeira serrada, painéis laminados, madeira folheada e compensado. Nesse contexto, a densidade básica é um parâmetro crítico sobre a qualidade da madeira, amplamente utilizado para essa finalidade. Por ser uma característica facilmente mensurável, possui impacto significativo em várias propriedades essenciais associadas ao uso final da madeira, como rigidez, rendimento e qualidade da celulose e do papel (Kibblewhite, 1984).

A idade em que a plantação é cortada é outro fator relevante que tem impacto direto nas características e qualidade da madeira (Neto *et al.*, 2024). Tem havido um interesse crescente entre os pesquisadores em investigar as características da madeira jovem e seu impacto nas propriedades da madeira, devido à diminuição da oferta de árvores maduras com grande diâmetro. Esse interesse tem favorecido a produção de árvores em ciclos de corte curtos (Vidaurre *et al.*, 2011).

A diversidade de espécies de coníferas na Europa e América do Norte incentiva estudos focados na investigação do comportamento da madeira juvenil nessas regiões (Vidaurre *et al.*, 2011). No entanto, pouco se sabe sobre a qualidade da madeira juvenil de árvores de *Pinus taeda* cultivadas no Brasil para fazer previsões precisas sobre seu crescimento. Portanto, o objetivo do presente estudo foi investigar o impacto do sítio na densidade básica da madeira de árvores jovens de *Pinus taeda* cultivadas em diferentes locais no Sul do Brasil.

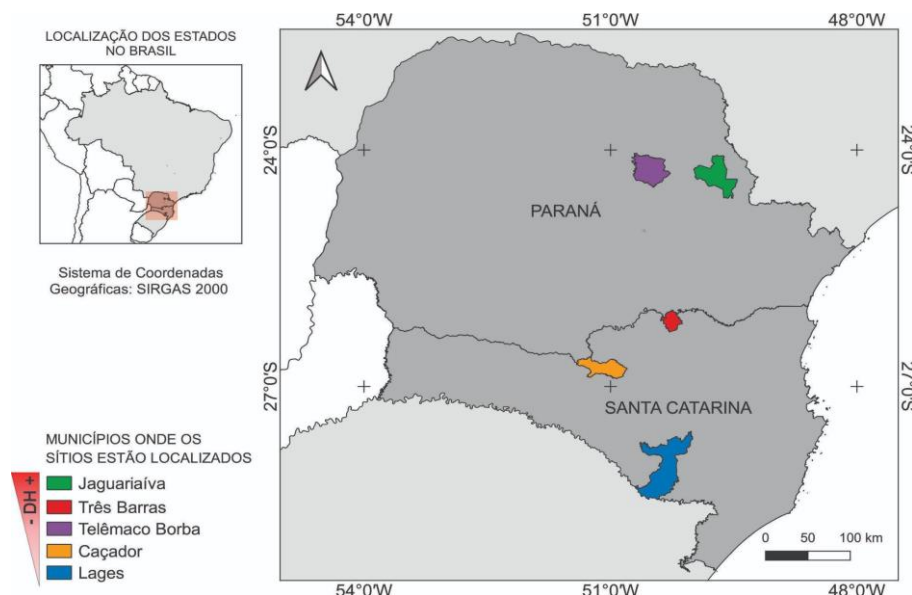
2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

Cinco sítios experimentais de plantio de *Pinus taeda* no sul do Brasil foram selecionados, sendo todos parte do Projeto PPPIB (Programa Cooperativo de

Pesquisa em *Pinus* no Brasil, <http://www.ipef.br/pppib>), coordenado pelo Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF). Dos cinco sítios, dois estão localizados no estado do Paraná e três em Santa Catarina (Figura 1).

Figura 1. Localização dos sítios experimentais na região sul do Brasil.



Os plantios de *Pinus taeda* foram implantados em quatro parcelas, cada uma com 8 linhas e 12 plantas por linha, totalizando 96 árvores por parcela. As parcelas não foram adubadas e não sofreram desbaste, mas foram mantidas livres de vegetação competidora durante todo o período experimental. As regiões avaliadas apresentam clima subtropical úmido com verão temperado e sem estação seca, classificado como Cfw segundo a classificação de Köppen (Alvares *et al.* 2013), (Tabela 1).

Tabela 1. Características ambientais dos sítios selecionados para o presente estudo.

Sítio	Solo ¹	Alt. (m)	Temp. (°C)	Prec. (mm.ano ⁻¹)	Geada	D.H. (dias.ano ⁻¹)	U.R. (%)
JAG (PR)	Incep.	1034	17,7	1270,9	3,7	-31,32	80,5
TRE (SC)	Ulti.	830	17,0	1513,4	14,3	-29,63	82,1
TEL (PR)	Oxi.	796	19,1	1533,6	4,8	-16,27	82,3
CAÇ (SC)	Incep.	1201	16,7	1611,0	13,4	-11,24	75,6
LAG (SC)	Incep.	943	16,2	1739,1	9,2	-3,77	80,9

Onde: ¹Soil Survey Staff (2014); Alt. = Altitude; Temp. = Temperatura; Prec. = Precipitação; D.H. = Déficit Hídrico; U.R. = Umidade Relativa; Jag. = Jaguaraiava; Tre. = Três Barras; Tel. = Telêmaco Borba; Caç. = Caçador; Lag. = Lages; Incep. = Inceptissolo; Oxi. = Oxissolo; Ulti. = Ultissolo.

2.2 Amostragem

Em cada parcela dos respectivos sítios experimentais, 16 árvores foram selecionadas. Portanto, 80 árvores jovens de *Pinus taeda*, com idades variando de 11 a 13 anos, foram amostradas. A colheita das árvores em cada local foi determinada com base em seu diâmetro médio na altura do peito (DAP), sendo esta informação obtida do inventário florestal mais recente conduzido nos sítios de estudo.

Foi realizada uma cubagem rigorosa, e o volume de cada árvore foi determinado por meio de uma equação ajustada com base nos valores de DAP e altura total. O incremento médio anual (IMA) foi calculado com base nos dados de volume individuais (Tabela 2).

Tabela 2. Dados de crescimento médio dos materiais analisados.

Sítio	Idade (anos)	Altura (m)	DAP (cm)	Volume (m ³ .ha ⁻¹)	IMA (m ³ .ha ⁻¹ .ano ⁻¹)
JAG (PR)	11	17,28 (13,74)	23,19 (12,99)	402,96 (31,62)	30,88 (29,80)
TRE (SC)	13	22,85 (6,10)	23,75 (1,29)	671,18 (7,17)	51,35 (2,06)
TEL (PR)	12	17,86 (3,63)	20,37 (7,28)	432,15 (15,72)	36,36 (16,49)
CAÇ (SC)	11	16,27 (7,53)	20,62 (4,65)	454,25 (12,52)	40,43 (8,91)
LAG (SC)	12	18,15 (2,07)	24,57 (7,46)	484,60 (10,91)	40,27 (12,50)

Média seguida pelo coeficiente de variação, entre parênteses. Onde: JAG = Jaguariaíva; TRE = Três Barras; TEL = Telêmaco Borba; CAÇ = Caçador; LAG = Lages; DAP = diâmetro na altura do peito; IMA = incremento médio anual.

2.3 Densidade da madeira

Foram retirados discos de 3,50 cm de espessura de seis posições das árvores, no DAP e a 25%, 50% e 75% da altura comercial. A densidade básica foi determinada pela relação da massa seca pelo volume saturado. A técnica de imersão foi aplicada com base no uso de duas cunhas opostas de 45°, em cada posição para cada árvore, conforme descrito na NBR 11941 (ABNT 2003).

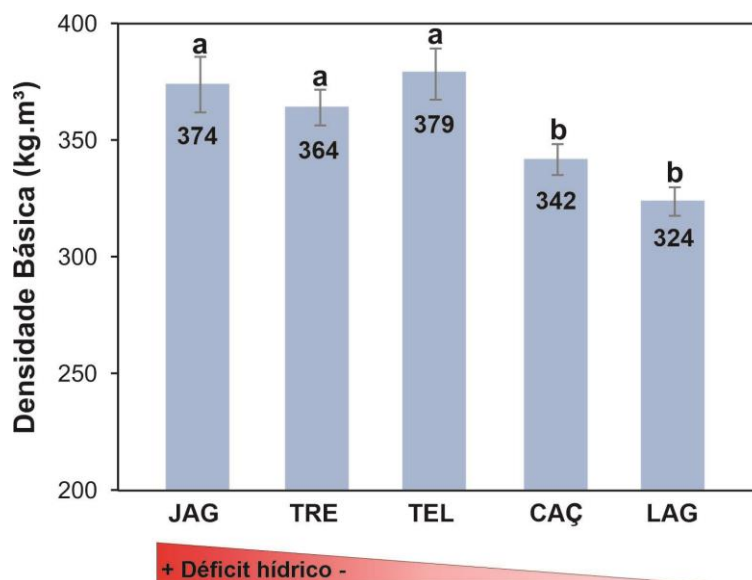
2.4 Análise estatística

Avaliou-se o atendimento aos pressupostos estatísticos de normalidade dos resíduos (teste de Shapiro-Wilk) e homoscedasticidade da variância (teste de Levene). Posteriormente, as variações da densidade básica entre os diferentes sítios foram analisadas utilizando o teste de Tukey a 5% de significância. Em seguida, as variáveis climáticas (altitude, geada, déficit hídrico, precipitação e temperatura média) e as árvores (variáveis dendrométricas, densidade básica e incremento médio anual - IMA) foram correlacionadas por meio da Correlação de Pearson a 5% de significância.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em geral, a densidade básica da madeira apresentou uma tendência de redução entre os sítios no sentido Norte-Sul, indicando uma possível interferência do meio nesta propriedade. As árvores dos sítios ao Sul do estado de SC (Caçador e Lages) apresentaram as menores densidades. Além disso, foi observado que os sítios que registraram a maior densidade da madeira também registraram maior estresse hídrico (Figura 2).

Figura 2. Densidade básica (kg.m^3) da madeira jovem de *Pinus taeda* nos cinco sítios do Sul do Brasil.



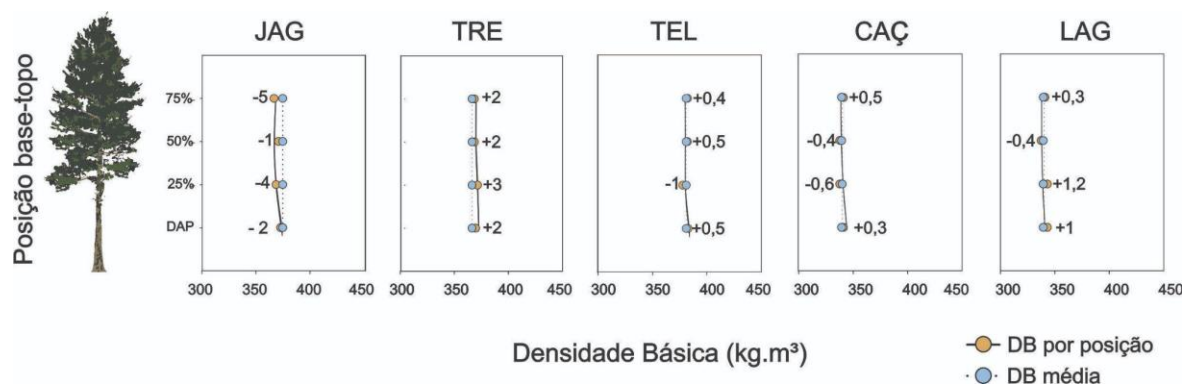
Onde: JAG = Jaguariaíva/PR; TRE = Três Barras/SC; TEL = Telêmaco Borba/PR; CAÇ = Caçador/SC; LAG = Lages/SC.

Santos *et al.* (2024) observaram que o estresse hídrico não afetou significativamente o crescimento de árvores de *Pinus spp.* no Sudeste do Brasil.

Estudos anteriores, como os de Nabais *et al.* (2018), mostraram que a densidade da madeira é influenciada por fatores climáticos e recursos, como a fertilidade do solo, e que há uma correlação positiva entre a densidade da madeira e a tolerância à seca.

No geral, a variabilidade da densidade básica foi uniforme na direção base-topo, indicando assim a homogeneidade das árvores jovens de *Pinus taeda* avaliadas (Figura 3). Portanto, é essencial levar em consideração as variações de densidade entre a madeira jovem e adulta (Vidaurre *et al.*, 2011).

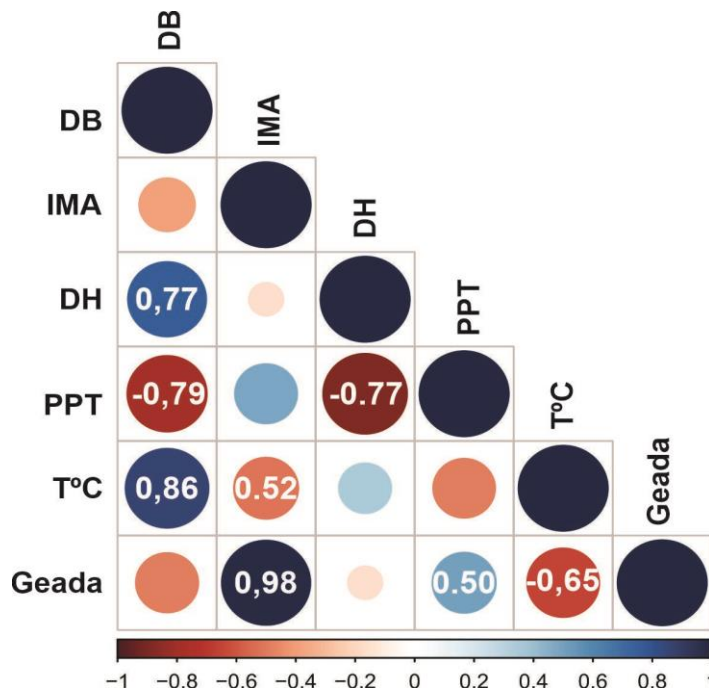
Figura 3. Variabilidade base-topo da densidade básica (kg.m^3) da madeira jovem de *Pinus taeda* nos cinco sítios do Sul do Brasil.



Onde: JAG = Jaguariaíva/PR; TRE = Três Barras/SC; TEL = Telêmaco Borba/PR; CAÇ = Caçador/SC; LAG = Lages/SC.

Com base na análise de correlação de Pearson, a densidade básica se correlacionou significativamente com as variáveis climáticas. Houve relação direta com o déficit hídrico e temperatura, e relação inversa com a precipitação (Figura 5).

Figura 3. Correlação de Pearson das variáveis climáticas e densidade básica (kg.m^3) da madeira jovem de *Pinus taeda* nos cinco sítios do Sul do Brasil.



Em situações adversas, como déficit hídrico e temperatura, as árvores tendem a priorizar resistência ao invés de crescimento. Isto contribui para o aumento da proporção de lenho tardio, o qual é caracterizado por apresentar células com parede mais espessa e menor lúmen, e consequentemente, maior densidade da madeira.

Ainda, a variável IMA apresentou relação direta com a geada. Esse resultado indica que a espécie está bem adaptada ao clima local. *P. taeda* é uma espécie reconhecidamente resistente às geadas, sendo indicada para regiões mais frias (Shimizu e Sebbenn, 2008).

4. CONCLUSÃO

Os sítios que apresentaram maior densidade básica da madeira também mostraram níveis mais elevados de estresse hídrico. A variabilidade da densidade básica apresentou uniformidade na direção base-topo. A variável geada apresentou relação direta com o IMA, indicando que a espécie está adaptada ao clima local.

5. REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003. NBR 11941: **Madeira – Determinação da densidade básica**. Rio de Janeiro.

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorol. Z.** 22 (6), 711–728, 2013.

BRAGA, R.C.; PALUDETO, J.G.Z.; SOUZA, B.M.; *et al.* Genetic parameters and genotypex environment interaction in *Pinus taeda* clonal tests. **For. Ecol. Manag.** 474, 118342, 2020.

CONSALTER, R.; MOTTA, A.C.V.; BARBOSA, J.Z.; *et al.* Fertilization of *Pinus taeda* L. on an acidic oxisol in southern Brazil: growth, litter accumulation, and root exploration. **Eur. J. For. Res.** 140 (5), 1095–1112, 2021.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, 2023. **Relatório Anual Ibá**.
<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2023-r.pdf>.

KIBBLEWHITE, R.P. *Pinus radiata* wood residue qualities and some utilization options. **New Zealand. J. For. Sci.** 14 (3), 382–394, 1984.

KULMANN, M.S.S., DELIBERALI, I., SCHUMACHER, M.V.; *et al.* Can fertilization and stand uniformity affect the growth and biomass production in a *Pinus taeda* plantation in southern Brazil. **For. Ecol. Manag.** 541, 121075, 2023.

MORO, L.; GATIBONI, L.C.; SIMONETE, M.A. *et al.* Resposta de *Pinus taeda* com diferentes idades à adubação NPK no Planalto Sul Catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 38, 1181–1189. 2014.

NABAIS, C.; HANSEN, J.K.; DAVID-SCHWARTZ, R. *et al.* The effect of climate on wood density: what provenance trials tell us? **For. Ecol. Manag.** 408, 148–156. 2018.

NETO, T.C.C., dos SANTOS, V.B., KUHLMANN, M.S.S. *et al.* The impact of age and forestry practices on the wood quality of *Pinus taeda* L. grown in different sites in Southern Brazil. *Forest Ecology and Management*. 2024.

SANTOS, D.R.S.; SILVA-NETO, C.D.M.; CHOTTI, C.P.T. Climate-growth relation and isotopic Δ 13-carbon responses of field-grown *Pinus caribaea* var. *hondurensis* and *Pinus taeda* to nutrient availability. **For. Ecol. Manag.** 552, 121548. 2024.

SHIMIZU, J. Y.; SEBBENN, A. M. Espécies de *Pinus* na Silvicultura Brasileira. In: SHIMIZU, J. Y. (ed.). *Pinus na Silvicultura Brasileira*. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2008.

SOIL SURVEY STAFF. *Keys to Soil Taxonomy*. Washington. 2014.

VIDAURRE, G.; LOMBARDI, L.R.; OLIVEIRA, J.T.D.S. *et al.* Lenho juvenil e adulto e as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**. 18, 469–480. 2011.