

Artigos

Efeito da idade, sortimento e tempo de estocagem na densidade verde da madeira de *Pinus taeda* L.

Age, assortment and the storage time effect on the wood green density of *Pinus taeda* L.

Marcelo Bonazza¹ , Jean Alberto Sampietro^{II} , Magnos Alan Vivian^I ,
Raul Silvestre^{III} , Karina Soares Modes^I 

^IUniversidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, SC, Brasil

^{II}Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC, Brasil

^{III}Lavoro Florestal e Ambiental Ltda, Curitiba, PR, Brasil

RESUMO

O conhecimento da densidade verde é fundamental no processo de comercialização e abastecimento industrial, possibilitando a conversão entre unidades de volume e massa da madeira. Dessa forma, o objetivo deste estudo foi avaliar a influência da idade da madeira, sortimentos e tempo de estocagem sobre a variação da densidade verde de toras de *Pinus taeda* L. Para isso, foram estudadas toras com diâmetros na ponta fina entre 8-18 cm (S1) e 18-24 cm (S2), com idade de 9 anos. Além desses dois sortimentos (S1 e S2), outros dois também foram analisados para toras com 21 anos de idade, 24-35 cm (S3) e acima de 35 cm (S4). A densidade verde da madeira foi determinada por meio da cubagem rigorosa e pesagem das toras no momento da colheita das árvores e em outras seis ocasiões, aos 7, 14, 21, 28, 60 e 90 dias de estocagem a campo. O efeito dos fatores idade, sortimento e tempo de estocagem foram verificados pelo modelo linear geral ($p < 0,05$). Posteriormente, equações para estimativa da densidade verde foram ajustadas em função da densidade básica e diâmetro médio das toras. Os resultados demonstraram que todos os fatores considerados tiveram efeito significativo sobre a densidade verde da madeira. A madeira mais velha apresentou maiores valores para essa variável e, dentro de cada idade, a densidade verde da madeira aumentou à medida que o diâmetro das toras diminuiu. O tempo de estocagem exerceu influência apenas sobre a densidade verde dos S1 e S2 em ambas idades. As equações ajustadas mostraram resultados satisfatórios para a predição da densidade verde da madeira. Assim, conclui-se que os fatores estudados devem ser considerados em amostragens para a determinação da densidade verde da madeira e que é possível utilizar variáveis de fácil obtenção, como o diâmetro médio das toras, para a estimativa dessa variável com precisão satisfatória.

Palavras-chave: Fator de conversão; Estocagem a campo; Densidade da madeira; Umidade da madeira

ABSTRACT

Green density knowledge is essential in the commercialization and industry supply, enabling conversion between wood volume and mass units. Thus, study objective was evaluated influence of the wood age, its dimensions and storage time in the *Pinus taeda* L. green density variation. To this, were studied logs with thin *tip diameters* between 8-18 cm (S1) and 18-24 cm (S2), aged 9 years. In addition to these, two others assortments were also analyzed for 21 year-old logs, 24-35 cm (S3) and over 35 cm (S4). Wood green density was determined by log diameter measurements and weighing at the harvesting time and on six other occasions, at 7, 14, 21, 28, 60 and 90 storage days in the field. Age, assortment and storage time effect were verified by general linear model ($p < 0.05$). Subsequently, equations to green density estimating were adjusted in function of the wood basic density and log average diameter. Results showed that all factors considered had significant effect in wood green density. Older wood presented higher values for this variable and, within each age, wood green density increased as the log diameters decreased. Storage time had influence only S1 and S2 assortments green density at both ages. Adjusted equations showed satisfactory results to green wood density prediction. Thus, we concluded that factors studied must be considered in sampling process to wood green density determination, being possible use variables easily obtained, such as log average diameters to estimate this variable with satisfactory precision.

Keywords: Conversion factor; Field storage; Wood density; Wood moisture

1 INTRODUÇÃO

Os plantios de *Pinus* são a base do setor florestal do Sul do Brasil, representando 18% (1,7 milhão de hectares) da área de florestas plantadas brasileiras, os quais concentram-se principalmente nos estados da região Sul do país, Paraná (43%), Santa Catarina (24%) e Rio Grande do Sul (18%) (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, 2021). Em Santa Catarina, por exemplo, o *Pinus* representa 67% da área de florestas plantadas do estado (ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE EMPRESAS FLORESTAIS, 2019).

Esses povoamentos fornecem matéria-prima para as mais diversas finalidades, como madeira serrada, celulose e papel, painéis de madeira reconstituída, laminados e compensados, entre outros. Tendo em vista esses diversos usos, no momento da colheita da madeira, as toras são classificadas em sortimentos, de acordo com seu diâmetro na ponta fina, os quais possuem diferentes valores de mercado. As toras com maiores dimensões e melhor qualidade relacionada ao núcleo nodoso da madeira apresentam maior valor de mercado por serem destinados a usos mais

nobres, como é o exemplo da laminação.

Dentre as espécies do gênero *Pinus*, a que mais se destaca em área plantada é o *Pinus taeda* L., que é conduzida em rotações que geralmente variam entre 15 e 30 anos, dependendo dos objetivos de uso da madeira. No entanto, fatores como idade, densidade de plantio e a forma de condução do povoamento afetam diretamente as características da madeira (LADRACH, 1986; SOUSA *et al.*, 2007). Além disso, outros aspectos como sortimento, empilhamento e tempo de estocagem a campo também têm papel importante na qualidade final da madeira (FERREIRA; FERNANDES; SARAIVA FILHO, 1983; MATTOS *et al.*, 2011).

Assim, é fundamental a avaliação e conhecimento de tais aspectos, bem como seu efeito sobre a madeira, pois, atualmente, a mesma é comercializada por meio da pesagem das toras. De acordo com Carvalho *et al.* (1992), a pesagem de toras para a comercialização apresenta alguns problemas, considerando que a madeira é em grande parte composta por água, independentemente da espécie. Nesse sentido, é comum observar veículos de transporte de madeira carregados com praticamente o mesmo volume, diferirem amplamente em suas massas, quando considerada a madeira recém cortada e submetida a períodos de estocagem a campo, sobretudo em regiões quentes com estações secas bem definidas. Neste caso, geralmente a madeira comercializada logo após a colheita tende a apresentar massa superior àquela que foi submetida à estocagem, considerando volumes de madeira constantes.

A quantificação da madeira para comercialização sofreu mudanças metodológicas ao longo dos anos, pois era realizada inicialmente por medidas de volume de madeira empilhada (estéreo) e passou a ser efetuada, predominantemente, pela pesagem de caminhões, tornando-se assim um processo mais rápido, fácil e de baixo custo, uma vez que, em geral, evita-se a medição individualizada de pilhas de madeira e toras (COUTO; BASTOS, 1988). Em contrapartida, os controles dos estoques das empresas são realizados através de inventários florestais, que fornecem uma estimativa do volume de madeira por área reflorestada. Dessa forma, é importante

para as empresas estabelecerem relações concretas e confiáveis a respeito de fatores que venham a subsidiar a conversão entre unidades de volume sólido e massa de madeira, para possibilitar estimativas do escoamento de sua produção com base no volume da floresta em pé.

Para tal, é comum por parte de algumas empresas a adoção de fatores de conversão médios, que na maioria das vezes consideram que uma tonelada de madeira seja o equivalente a um metro cúbico, independentemente da idade de colheita das árvores, sortimentos e, ainda, sem considerar se essa madeira ficou estocada por algum período de tempo. Segundo Machado e Figueiredo Filho (2014), a adoção de fatores médios para conversão entre unidades de medida, sem amostragem específica para o local, pode acarretar em erros grosseiros nas estimativas desejadas.

Nesse contexto, também é importante considerar que a massa da madeira decresce rapidamente em função da perda de água após sua derrubada e processamento, podendo variar em função da época do ano, já que é influenciada pela temperatura, precipitação e umidade relativa do ar, bem como pelas próprias características intrínsecas da espécie ou pelas suas dimensões e sortimentos.

Tendo em vista a importância da determinação da densidade verde para a conversão entre unidades de volume e massa de madeira no processo de comercialização e abastecimento fabril, este estudo teve como objetivo avaliar a influência da idade da madeira, sortimentos e do tempo de estocagem sobre a variação da densidade verde. Para isso, as hipóteses consideradas neste estudo foram: I) a densidade verde varia em função da idade e dos sortimentos da madeira, como reflexo da variação da densidade básica e teor de umidade dentro desses dois fatores; II) a densidade verde tende a decrescer ao longo do tempo de estocagem e sua variação está altamente relacionada ao volume de precipitação de chuvas; e III) é possível estimar a densidade verde com precisão a partir de variáveis, como a densidade básica da madeira e o diâmetro das toras.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área de estudo

A área de estudo estava localizada no município de Ponte Alta do Norte, estado de Santa Catarina, nas coordenadas UTM E: 553821, N: 7000262, fuso 22 J. Segundo a classificação de Köppen, o clima dessa região é do tipo Cfb, mesotérmico, subtropical úmido, com verões frescos, sem estações secas definidas e com a ocorrência de geadas severas. A temperatura média anual do local varia de 16 a 18°C e a precipitação média anual entre 800 e 1.000 mm (ALVARES *et al.*, 2013).

Foram estudados povoamentos de *Pinus taeda* L. com cerca de 9 e 21 anos de idade. A densidade inicial de plantio em ambas as idades era de 1.600 árv.ha⁻¹ (2,5 x 2,5 m). O povoamento de 9 anos ainda não havia sofrido nenhuma intervenção de desbaste, ao passo que o de 21 anos havia sido submetido a três intervenções de desbaste (aos 8, 11 e 15 anos) e possuía densidade de 320 árv.ha⁻¹ quando o estudo foi realizado.

2.2 Coleta dos dados e delineamento experimental

As árvores amostradas foram derrubadas, desganhadas e traçadas fazendo o uso de motosserra. Na etapa de traçamento, as toras foram classificadas com base em seu diâmetro na ponta fina, seguindo os critérios utilizados pela empresa onde o estudo foi realizado. O comprimento de todas as toras era 3,10 m. Árvores com idade de 9 anos tinham dois sortimentos: 8 a 18 cm (S1) e 18 a 24 cm (S2). Enquanto aquelas com 21 anos possuíam, além dos citados, outros dois sortimentos: 24 a 35 cm (S3) e acima de 35 cm (S4).

As toras foram identificadas com placas metálicas por um código único e cubadas com casca pelo método de Smalian (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2014). Para isso, foram realizadas medições dos diâmetros cruzados nas duas extremidades de cada

tora com uma fita métrica e do diâmetro no centro de cada uma delas (diâmetro médio, D_m) com uma suta. As posições em que as medições ocorreram nas toras foram marcadas com tinta, possibilitando que as mensurações posteriores fossem efetuadas sempre no mesmo local. Por fim, a massa de cada tora foi determinada por meio de uma balança digital com capacidade de 500 kg, a qual ficava acoplada a uma talha elétrica suspensa em quadripé metálico, o que possibilitava a pesagem sem contato com o solo.

Posteriormente, as toras ficaram estocadas à margem do talhão, simulando condições reais de colheita, para verificação de possíveis variações nas suas dimensões e massa. A estocagem foi realizada no outono, seguindo o delineamento de blocos ao acaso, com três repetições de cinco toras para cada sortimento e idade estudados. Assim, 30 e 60 toras foram amostradas nas idades de 9 e 21 anos, respectivamente.

Além da medição efetuada no momento da colheita das árvores, foram realizadas outras seis medições e pesagens das toras. As quatro primeiras ocorreram semanalmente, aos 7, 14, 21 e 28 dias de estocagem e as outras duas mensalmente, aos 60 e 90 dias de estocagem.

Na ocasião da derrubada e processamento das árvores, foram amostradas 8 cunhas de discos em cada sortimento e idade para a determinação da densidade básica da madeira, totalizando 48 repetições. Para isso, seguiram-se as recomendações da norma ABNT NBR 11941 (2003). Também se determinou o teor de umidade inicial, base seca, da madeira com a coleta de outros 4 discos em cada sortimento e idade, conforme norma COPANT 460 (1972). Essas variáveis foram obtidas com o intuito de caracterizar a madeira.

A densidade verde foi obtida pela razão entre a massa e o volume das toras em cada período de estocagem. Além disso, utilizando a média do teor umidade inicial e a massa das toras em cada medição, determinou-se o teor de umidade da madeira ao longo do período de estocagem a campo. O fator de forma foi calculado pela razão entre o volume de cada tora e o volume de um cilindro, considerando o diâmetro médio na ponta grossa.

Por fim, o volume de precipitação diário ocorrido durante o período de estocagem da madeira foi coletado na estação meteorológica da empresa em que se realizou o estudo, visando determinar a influência dessa variável sobre a densidade verde da madeira.

2.3 Análise dos dados

Conduziu-se a estatística descritiva dessas variáveis por meio de média e desvio padrão considerando os sortimentos e idades estudados. Os efeitos dos fatores idade, sortimento e tempo de estocagem sobre densidade básica, densidade verde e teor de umidade da madeira foram verificados através do modelo linear geral ($p < 0,05$). Quando necessário, utilizou-se o coeficiente de correlação de Pearson (r) para avaliar a relação entre variáveis quantitativas ($p < 0,05$).

As variáveis dependentes usadas na análise de regressão foram submetidas aos testes de Kolmogorov-Smirnov e Bartlett, para a confirmação dos pressupostos de normalidade e homogeneidade de variâncias, respectivamente.

As tendências da densidade verde e teor de umidade da madeira em relação ao tempo de estocagem foram analisadas por meio de regressão linear simples ($p < 0,05$). Adicionalmente, avaliou-se a variação da densidade verde em função do volume precipitado de chuvas nos dois dias antecedentes à realização das medições e pesagens.

Enfim, com o intuito de estimar a densidade verde, equações de simples entrada foram ajustadas utilizando a densidade básica e o diâmetro médio das toras como variáveis independentes. Devido ao procedimento amostral, não foi possível parear os dados de densidade verde e básica ao nível de tora. Com isso, foi considerada a média da densidade básica no ajuste da regressão ($n = 6$ e 12 para as idades de 9 e 21 anos, respectivamente). No caso do diâmetro médio, cada tora medida e pesada representou uma amostra, devido à possibilidade de pareamento dos dados ($n = 30$ e 60 para as idades de 9 e 21 anos, respectivamente).

A significância do coeficiente das equações foi determinada pelo teste F ($p < 0,05$) e o ajuste das mesmas foi avaliado pelo coeficiente de determinação e erro padrão da estimativa relativo. As análises estatísticas foram conduzidas nos programas Statgraphics Centurion XI e Microsoft Excel.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Efeito do sortimento e da idade nas características da madeira

Os valores do diâmetro de ponta fina e grossa, fator de forma, teor de umidade inicial e densidade básica e verde, para as toras dos diferentes sortimentos e idades de *Pinus taeda*, podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1 – Estatística descritiva das variáveis obtidas nos diferentes sortimentos e idades para *Pinus taeda*

Variáveis	Idade (anos)					
	9		21			
	S1	S2	S1	S2	S3	S4
Diâmetro de ponta fina, amplitude(cm)	8 - 18	18 - 24	8 - 18	18 - 24	24 - 35	> 35
Diâmetro de ponta fina, média(cm)	13,4 (± 2,7)	20,2 (± 1,2)	13,2 (± 2,6)	20,1 (± 1,2)	29,9 (± 3,1)	37,7 (± 3,0)
Diâmetro de ponta grossa, média(cm)	19,5 (± 3,1)	27,8 (± 1,2)	17,9 (± 2,8)	24,6 (± 2,7)	34,2 (± 4,1)	42,6 (± 3,7)
Fator de forma, média	0,75 (± 0,07)	0,74 (± 0,05)	0,80 (± 0,10)	0,87 (± 0,09)	0,88 (± 0,08)	0,89 (± 0,07)
Teor de umidade inicial, média (%)	181,6 (± 21,3)	140,8 (± 30,1)	173,3 (± 15,5)	141,1 (± 12,9)	124,5 (± 9,7)	104,7 (± 14,1)
Densidade básica, média (t.m ⁻³)	0,303 (± 0,032)	0,328 (± 0,030)	0,345 (± 0,018)	0,369 (± 0,032)	0,386 (± 0,021)	0,411 (± 0,022)
Densidade verde, média (t.m ⁻³)	1,030 (± 0,055)	0,901 (± 0,038)	1,084 (± 0,048)	1,061 (± 0,039)	0,992 (± 0,063)	0,954 (± 0,043)

Fonte: Autores (2021)

Em que: valores entre parênteses são o desvio padrão e os valores médios de densidade verde referem-se à madeira recém cortada.

Os diâmetros médios na ponta fina das toras apresentaram maior variabilidade no S1 em ambas as idades, com coeficientes de variação de 20,0% e 19,7% para as idades de 9 e 21 anos, respectivamente. Segundo Pimentel-Gomes (2009), esses valores podem ser classificados como médios, ao passo que todos os demais sortimentos amostrados apresentaram coeficientes de variação baixos (inferiores a 10%). Esses resultados são decorrentes da maior variação no diâmetro e forma dentre as toras obtidas do topo das árvores, as quais foram classificadas no sortimento S1.

O fator de forma das toras apresentou tendência de aumento com o passar da idade ($p < 0,01$). As toras obtidas nas árvores com 21 anos apresentaram fator de forma variando entre 0,80 a 0,89, enquanto aquelas de 9 anos tiveram variação entre 0,74 e 0,75. Embora o fator de forma não tenha se mostrado influenciado pelos diferentes sortimentos ($p = 0,20$), as médias absolutas dessa variável para a idade de 21 anos demonstraram, de forma geral, que sortimentos de maior diâmetro foram mais cilíndricos, com fatores de forma maiores em relação às toras de posições superiores do fuste.

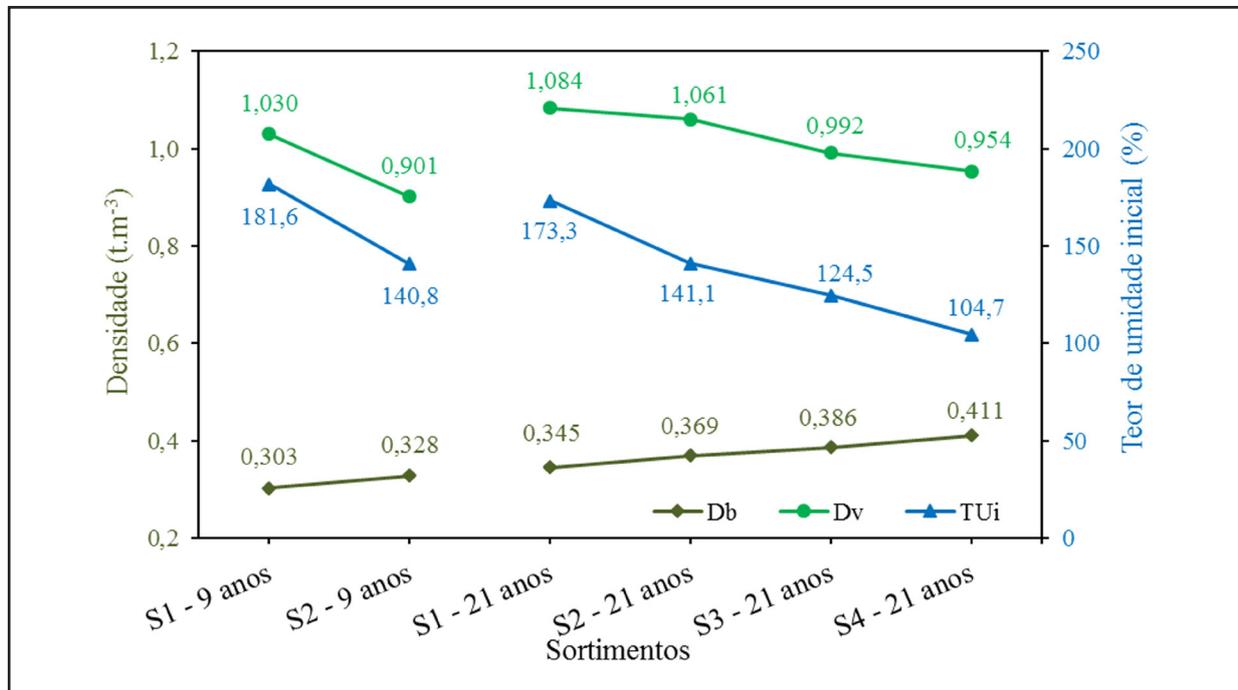
Um aspecto que pode explicar fatores de forma menores nas toras oriundas de árvores com 9 anos é que a culminação do incremento corrente anual em altura acontece antes do diâmetro (MACHADO *et al.*, 2015; MIRANDA *et al.*, 2017). Isso denota que quando as árvores são jovens apresentam crescimento mais acelerado em altura, tendo maior conicidade e, à medida que entram em classes de idade superiores e se estabelecem no dossel do povoamento, tendem a ficar mais cilíndricas devido ao maior incremento em diâmetro comparativamente à altura. Além disso, a realização de desbastes também contribui com a manutenção do incremento em diâmetro devido à redução da competição, o que também se reflete na diminuição da conicidade das árvores com maior idade. Outros autores que estudaram o fator de forma de *Pinus taeda* corroboram com esses resultados, inferindo que os fustes se tornam mais cilíndricos com o aumento da idade (KHOLER *et al.*, 2016; ATANAZIO *et al.*, 2018).

O teor de umidade inicial foi influenciado pelos sortimentos ($p < 0,01$), ao passo que as diferentes idades não exerceram influência nessa variável ($p = 0,62$). O teor de umidade inicial foi maior nos sortimentos de madeira de menores diâmetros para ambas as idades (Figura 1). O maior valor foi observado para a madeira de *Pinus taeda* com 9 anos de idade no sortimento S1 e o menor para 21 anos no sortimento S4, o que é explicado pelas diferenças na densidade da madeira quando considerados os fatores idade e sortimento.

Tanto a densidade básica, quanto a densidade verde foram influenciadas pelas diferentes idades e sortimentos ($p < 0,01$). No entanto, a densidade básica apresentou comportamento inverso ao teor de umidade, aumentando na maior idade estudada e nos sortimentos de maior diâmetro (Figura 1). Uma vez que a metodologia de determinação da densidade básica desconsidera a influência do teor de umidade sobre a massa e volume mensurados, essa variável é influenciada primordialmente pela porosidade da estrutura anatômica da madeira. Nesse sentido, a presença de uma maior proporção de lenho tardio, caracterizado por células de lúmen reduzido, promove um aumento da densidade básica da madeira dos indivíduos de maior idade. Por outro lado, o aumento da densidade básica nos maiores sortimentos deve-se ao fato de que ao longo do fuste de uma mesma árvore têm-se porções de diferentes idades fisiológicas, esta última diminuindo da base em relação ao topo da árvore. Já a densidade verde se mostrou diretamente relacionada com o teor de umidade da madeira, tendendo a aumentar à medida que maiores teores de umidade foram encontrados.

Nesse contexto, constatou-se que houve um comportamento inverso entre as densidades básica e verde da madeira. Conforme mencionado acima, em função da metodologia de determinação, a primeira é influenciada pela porosidade das células que compõe a estrutura anatômica da madeira e a segunda é influenciada pelo teor de umidade que a madeira apresenta na ocasião da determinação. Portanto, quanto menor a porosidade das células da madeira, maior a densidade básica e menor a densidade verde, em função do menor teor de umidade do material.

Figura 1 – Variação da densidade básica (Db), teor de umidade inicial (TUi) e densidade verde (Dv) das toras recém cortadas nas diferentes idades e sortimentos



Fonte: Autores (2021)

Os valores médios de densidade básica da madeira de *Pinus taeda* com 9 e 21 anos foram, respectivamente, de 0,316 e 0,378 t.m⁻³. A densidade básica é mais elevada em árvores mais velhas, devido a presença de madeira adulta (JESUS; SILVA, 2020), que é caracterizada por apresentar anéis de crescimento com uma proporção maior de lenho tardio em comparação com a madeira juvenil, que por sua vez apresenta maior volume de lenho inicial. Isso ocorre devido à árvore reduzir o seu ritmo de crescimento ao longo do tempo. De acordo com alguns pesquisadores, para o *Pinus taeda*, a transição de madeira juvenil para adulta inicia-se entre 11 e 17 anos de idade (TASSISA; BURKHART; BROOKS, 1998; HENNESSEY *et al.*, 2004; DOBNER JUNIOR; HUSS; TOMAZELLO FILHO, 2018). Dessa forma, as árvores com 9 anos aparentemente apresentavam apenas madeira juvenil, enquanto aquelas com 21 anos apresentavam uma proporção maior de madeira adulta.

Em relação à variação da densidade básica entre os sortimentos, tal diferença pode ser explicada pelas diferentes proporções de lenho tardio ao longo do fuste. Essa diferença fica clara comparando-se a densidade básica observada para a madeira de *Pinus taeda* com 21 anos no menor sortimento (S1, 0,345 t.m⁻³) e no maior sortimento (S4, 0,411 t.m⁻³), os quais foram retirados das porções superior e inferior do fuste, respectivamente. Trianoski *et al.* (2013) corroboram com esse resultado ao mencionarem que em *Pinus* spp., 2/3 das espécies demonstram redução da densidade básica ao longo do fuste da base para o topo.

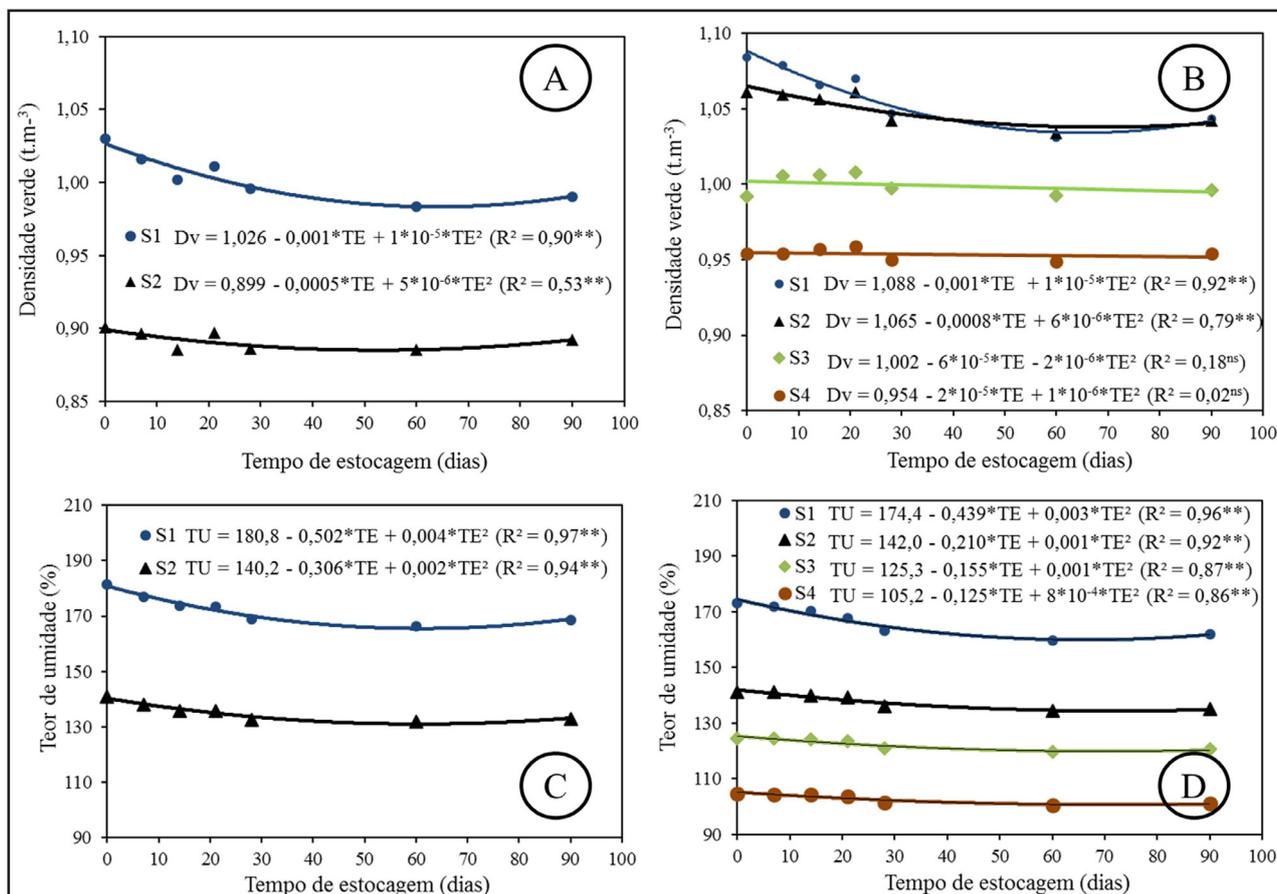
Os valores médios de densidade verde foram de 0,966 e 1,023 t.m⁻³ para as madeiras de *Pinus taeda* com 9 e 21 anos, respectivamente. Contudo, tiveram variação considerável entre os sortimentos, com alta dependência do teor de umidade, conforme já discutido (Figura 1). Tal variável indica a densidade da madeira recém-cortada, a qual está no seu máximo volume e teor de umidade, e tem grande importância no processo de compra e venda da madeira.

3.2 Efeito do tempo de estocagem na densidade verde e no teor de umidade da madeira

O modelo linear geral evidenciou influência do tempo de estocagem na densidade verde ($p=0,03$) e no teor de umidade da madeira ($p<0,01$). Na Figura 2, pode ser observada a variação dessas variáveis ao longo do tempo de estocagem a campo para as diferentes idades e sortimentos.

A variação da densidade verde e do teor de umidade em relação ao tempo de estocagem da madeira foi mais pronunciada para os sortimentos S1 e S2, em ambas as idades. Esses sortimentos apresentaram comportamento semelhante para 9 e 21 anos, com maiores variações observadas até os 28 dias de estocagem. A partir desse período a curva tendeu a estabilizar. Enquanto os sortimentos S3 e S4 da idade de 21 anos não apresentaram tendências de variação ao longo do tempo.

Figura 2 – Variação da densidade verde (Dv) e do teor de umidade (TU) para a madeira com 9 anos (A e C) e 21 anos (B e D) ao longo do tempo de estocagem nos diferentes sortimentos



Fonte: Autores (2021)

O comprimento das toras (3,10 m) e a presença de casca também podem ter contribuído para que houvesse pequenas variações na massa das mesmas. As variações da densidade verde durante todo o período de estocagem na idade de 9 anos foram de -3,1% e -1,0% para S1 e S2, respectivamente. Na idade de 21 anos, S1 apresentou novamente a maior variação na densidade verde (-3,8%), seguido do S2 (-1,8%), enquanto os S3 e S4 tiveram variação pouco expressiva, apresentando aumento na ordem de 0,4%.

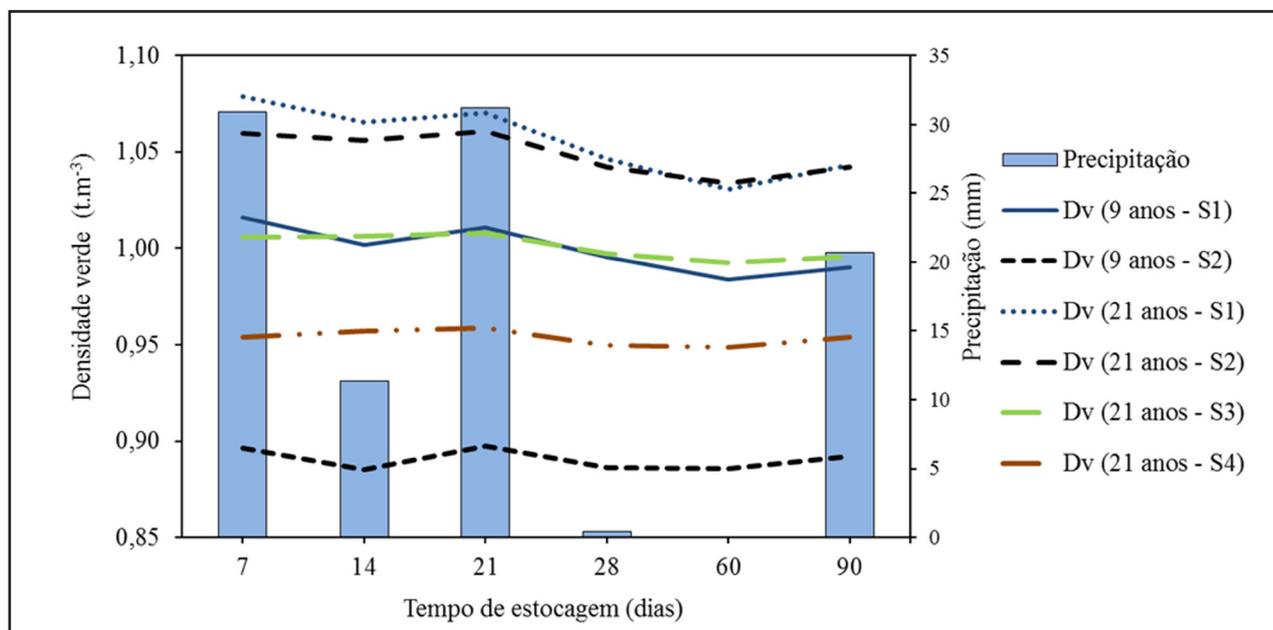
Em geral, houve elevado volume de precipitação durante o período de estudo

(Figura 3), o que pode ter influenciado diretamente à pequena variação da densidade verde durante o período de estocagem da madeira a campo, culminando inclusive no aumento do mesmo nas ocasiões referentes a 21 e 90 dias de estocagem. É importante ressaltar que a avaliação apresentada neste estudo é referente à estação do outono e que em outras estações (como verão, inverno ou primavera) podem haver comportamentos distintos em relação à densidade verde e teor de umidade, sobretudo, devido a mudanças de temperatura, precipitação, radiação solar, ventos e umidade relativa do ar.

O processo de secagem é influenciado por uma série de fatores, tanto relacionados com o ambiente, como intrínsecos à própria madeira, como a espécie, umidade inicial, diferença de lenhos, densidade e espessura das peças (PERTUZZATTI *et al.*, 2013). No que se referem às condições climáticas, segundo Susin *et al.* (2014), a taxa de secagem ao ar da madeira depende principalmente da temperatura, da umidade relativa do ar e da velocidade do vento.

Juizo *et al.* (2015) observaram após o abate de árvores de *Pinus patula* que o teor de umidade do lenho juvenil foi estatisticamente superior ao registrado para o lenho adulto. Essa informação corrobora com o registrado no presente estudo, em que as árvores de menor idade e sortimento apresentaram um teor de umidade inicial superior. Conforme já comentado anteriormente, as árvores de menor idade (9 anos) são compostas por madeira juvenil, que entre outras características, possui uma menor proporção de lenho tardio em relação ao lenho inicial, este último de maior porosidade, e conseqüentemente maior capacidade de armazenamento de água capilar dentro da célula, elevando o teor de umidade do material. Da mesma forma, no sentido longitudinal do fuste ocorre a predominância de madeira juvenil, o que explica o maior teor de umidade verificado nas toras dos menores sortimentos.

Figura 3 – Precipitação referente aos dois dias antecedentes às medições e pesagens, e densidade verde nos diferentes períodos de estocagem



Fonte: Autores (2021)

Segundo Plumb, Brown e Olmstead (1984) e Tsoumis (1991), em decorrência do tamanho reduzido do diâmetro do lúmen e das aberturas existentes nas paredes das fibras/traqueoides do lenho tardio da madeira, as forças de retenção de água aí localizadas são maiores do que as localizadas no lenho inicial. Esse fato explica as menores perdas de água por parte da madeira proveniente dos maiores sortimentos, os quais apresentaram densidade básica superior devido a maior proporção de lenho tardio. No mesmo sentido, Garbe (2006) infere que a madeira de *Pinus taeda* com maior densidade possui maior quantidade de água higroscópica, aquela localizada na parede celular, a qual é mais difícil de ser removida. Já a água livre ou capilar, presente no lúmen celular e espaços vazios das células, é removida mais facilmente, sendo esta encontrada em maior quantidade nas madeiras de menor sortimento, os quais apresentavam grande proporção de lenho inicial e células de maior diâmetro do lúmen, e conseqüentemente menor densidade básica.

3.3 Equações para estimativa da densidade verde da madeira

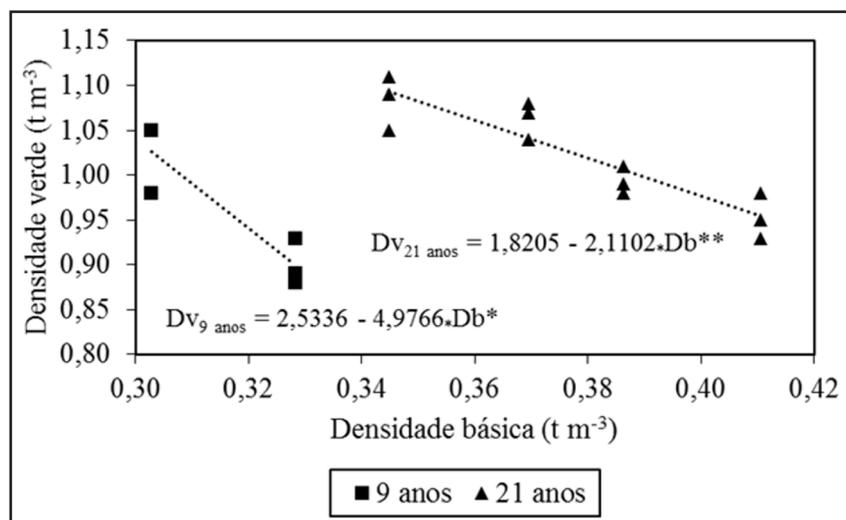
Embora o tempo de estocagem tenha influenciado a densidade verde, essa variável mostrou efeito secundário em relação à densidade básica e o teor de umidade inicial da madeira. Tendo em vista que a densidade básica e o teor de umidade inicial apresentaram forte relação negativa entre si ($r = -0,87$; $p < 0,01$), apenas a densidade básica foi utilizada para estimar a densidade verde (Figura 4), de forma a evitar possíveis problemas de multicolinearidade nas equações.

As equações apresentaram resultados estatísticos satisfatórios para a predição da densidade verde, com coeficiente de determinação de 0,83 e 0,82 e erro padrão da estimativa de 3,5% e 2,5% para as idades de 9 e 21 anos, respectivamente. Isso denota que a variável independente foi altamente explicativa e as estimativas se mostraram relativamente precisas.

A densidade verde é uma variável útil, pois possibilita que a compra e venda de madeira ocorra de forma justa e ágil, considerando que o estoque dos povoamentos florestais em pé é controlado com base no volume das árvores, ao passo que a venda é baseada na massa da madeira. Segundo Núñez (2007) e Oliveira *et al.* (2011), a densidade verde pode ser utilizada para a determinação da massa de madeira carregada nos veículos de transporte e na transformação entre unidades de volume sólido e massa de madeira, subsidiando o seu processo de compra e venda.

Nesse contexto, apesar da densidade básica ter apresentado uma boa capacidade preditiva da densidade verde da madeira (Figura 4), essa equação tem pouca aplicabilidade prática para o processo de compra e venda de madeira, visto que essa é uma variável de difícil obtenção em campo, pois depende de amostragem destrutiva e análises laboratoriais, o que restringe sua determinação em larga escala. Assim, o diâmetro médio das toras foi utilizado como variável preditora numa segunda abordagem de equações, também com o objetivo de estimar a densidade verde da madeira (Figura 5).

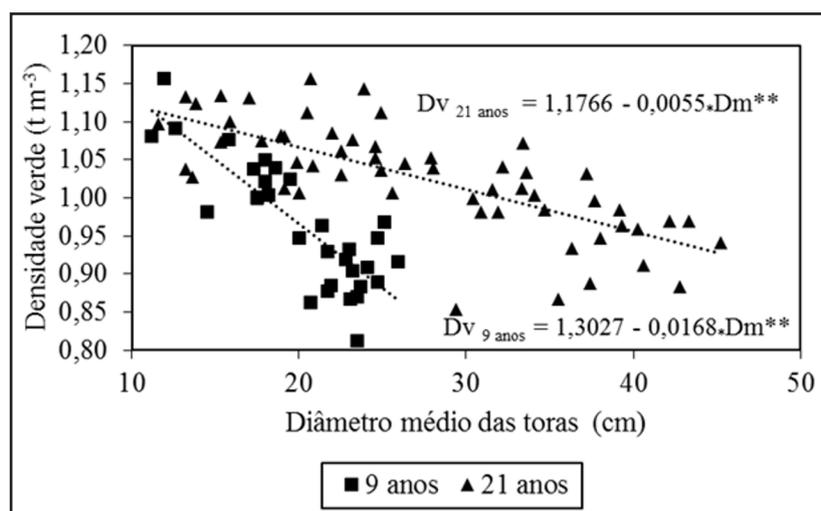
Figura 4 – Regressões para estimativa da densidade verde em função da densidade básica da madeira recém cortada de *Pinus taeda* com 9 e 21 anos (n = 6 e n = 12, respectivamente)



Fonte: Autores (2021)

Em que: Dv – densidade verde, Db – densidade básica, * - equação significativa ao nível de 5% de probabilidade e ** - equação significativa ao nível de 1% de probabilidade.

Figura 5 – Regressões para estimativa da densidade verde em função do diâmetro médio das toras para madeira recém cortada de *Pinus taeda* com 9 e 21 anos (n = 30 e n = 60, respectivamente)



Fonte: Autores (2021)

Em que: Dv – densidade verde, Dm – diâmetro médio medido no centro da tora e ** - equação significativa ao nível de 1% de probabilidade.

A densidade verde apresentou tendência de decréscimo com o aumento do diâmetro das toras (Figura 5), com coeficiente de determinação de 0,68 e 0,52, e erro padrão da estimativa de 4,9% e 4,8% para as idades de 9 e 21 anos, respectivamente. Os resultados estatísticos dessas equações foram inferiores em relação aos obtidos para a equação que utilizou a densidade básica como variável independente (Figura 4).

Entretanto, a utilização do diâmetro médio das toras para a determinação da densidade verde da madeira confere às equações maior aplicabilidade prática, pois essa variável pode ser facilmente obtida, tanto por meio de equações de afilamento, quanto pela mensuração direta das toras no momento da colheita da madeira. Dessa forma, essas equações permitem que as transformações entre unidades de volume sólido e massa de madeira sejam realizadas de forma mais assertiva, subsidiando o planejamento florestal e o controle do estoque das florestas.

4 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, todas as hipóteses formuladas foram aceitas, considerando que:

- Idade e sortimento tiveram efeito significativo sobre a densidade verde da madeira. A madeira mais velha apresentou maiores valores para essa variável. Dentro de cada idade, houve uma tendência de aumento da densidade verde à medida que os diâmetros das toras decresceram, como reflexo do maior teor de umidade e menor densidade básica da madeira;

- Em geral, a densidade verde da madeira mostrou tendência decrescente ao longo do tempo de estocagem, estando intimamente relacionada ao volume precipitado de chuvas. No entanto, isso ficou mais evidente nos sortimentos mais finos de ambas as idades (S1 e S2), os quais apresentaram uma diminuição mais acentuada com o aumento do tempo de estocagem, ao passo que os maiores sortimentos na idade de 21 anos (S3 e S4) não sofreram variações significativas;

– A densidade verde da madeira foi estimada com estatísticas de ajuste e precisão satisfatórias a partir da densidade básica e do diâmetro das toras. Assim, embora as estatísticas de ajuste e precisão tenham sido melhores quando utilizada a densidade básica como variável independente, recomenda-se a utilização do diâmetro médio das toras como variável preditora, por ser facilmente obtida, aumentando a aplicabilidade prática da equação.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**: madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003.

ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Berlin, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507

ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE EMPRESAS FLORESTAIS. **Anuário estatístico de base florestal para o estado de Santa Catarina 2019 (ano base 2018)**. Lages, 2019.

ATANAZIO, K. A. *et al.* Fator de forma artificial para *Pinus taeda* L. em um povoamento localizado em Enéas Marques, PR. **Acta Biológica Catarinense**, Joinville, v. 5, n. 1, p. 65-71, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.21726/abc.v5i1.424>

COMISSÃO PARAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **COPANT 460**: Método de determinação da umidade. Caracas, 1972.

DOBNER JUNIOR, M.; HUSS, J.; TOMAZELLO FILHO, M. Wood density of loblolly pine trees as affected by crown thinning and harvest age in southern Brazil. **Wood Science and Technology**, New York, v. 52, n. 2, p. 465-485, 2018. DOI: 10.1007/s00226-017-0983-9

CARVALHO, F. D. *et al.* Sistema de visão toros. In: ENCONTRO NACIONAL TECNCELPA, 13., 1992, Estoril. **Anais [...]**. Estoril: [s. n.], 1992.

COUTO, H. T. Z.; BASTOS, N. L. M. Fator de empilhamento para plantações de Eucalyptus no Estado de São Paulo. **IPEF**, Piracicaba, n. 38, p. 23-27, 1988.

FERREIRA, M. C.; FERNANDES, P. S.; SARAIVA FILHO, J. C. Variação na umidade da madeira de eucalipto estocada em pátios industriais. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4., 1982. Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: SBS; IBDF; CNPq; FINEP, 1983. p. 779-781.

GARBE, E. A. **Fatores influentes na secagem convencional de *Pinus taeda* com ênfase em trincas superficiais**. 2006. Monografia (Curso de Engenharia Industrial Madeireira) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

HENNESSEY, T. C. *et al.* Long-term growth and ecophysiological responses of a southeastern Oklahoma loblolly pine plantation to early rotation thinning. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 192, n. 1, p. 97-116, abr. 2004. DOI: 10.1016/j.foreco.2004.01.008

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório Anual 2021 (Ano base 2020)**. Brasília, 2021. 93 p.

JESUS, D. S.; SILVA, J. S. Variação radial de propriedades anatômicas e físicas da madeira de eucalipto. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 37, n. 1, p. 1-13, 2020. DOI: 10.35977/0104-1096.cct2020.v37.26476

JUIZO, C. G. F. *et al.* Variação radial das propriedades físicas da madeira de *Pinus patula* plantados em Moçambique. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 35, n. 83, p. 285-292, jul./set. 2015. DOI: 10.4336/2015.pfb.35.83.771

KOHLER, S. V. *et al.* Evolution of tree stem taper in *Pinus taeda* stands. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, n. 7, p. 1185-1191, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20140021>

LADRACH, W. E. Control of wood properties in plantations. *In*: IUFRO WORLD CONGRESS 18., 1986, Ljubljana. **Proceedings** [...]. Ljubljana: IUFRO Organizing Committee, 1986. p. 369-379.

MACHADO, S. A. *et al.* Evolução das variáveis dendrométricas da bracatinga por classe de sítio. **Cerne**, Lavras, v. 21, n. 2, p. 199-207, 2015. DOI: 10.1590/01047760201521021222

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. 2. ed. Guarapuava: UNICENTRO, 2014. 316 p.

MATTOS, B. D. *et al.* Variação axial da densidade básica da madeira de três espécies de gimnospermas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 1, p. 121-126, 2011.

MIRANDA, Z. P. *et al.* Volume increment modeling and subsidies for the management of the tree *Mora paraensis* (Ducke) Ducke based on the study of growth rings. **Trees**, [s. l.], v. 32, p. 277-286, 2017. DOI: 10.1007/s00468-017-630-7

NÚÑEZ, C. E. Relaciones de Conversión entre densidad básica y densidad seca de Madera. **Revista Ciência e Tecnologia**, Campinas, v. 9, n. 7, p. 44-50, 2007.

OLIVEIRA, E. B. *et al.* **Determinação da Quantidade de Madeira, Carbono e Renda da Plantação Florestal**. Colombo: Embrapa Floresta, 2011. 39 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 220). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/40634/1/Doc220.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2021.

PERTUZZATTI, A. *et al.* Influência do diâmetro das toras na secagem ao ar livre de *Eucalyptus globulus* Labill. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 4, n. 2, p. 191-201, nov. 2013. DOI: 10.12953/2177-6830.v04n02a05

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: Fealq, 2009. 451 p.

PLUMB, O. A.; BROWN, C. A.; OLMSTEAD, B. A. Experimental measurements of heat and mass transfer during convective drying of southern pine. **Wood Science and Technology**, New York, v. 15, n. 3, p. 189-199, 1984.

SOUZA, R. C. *et al.* Efeito da idade e da posição radial na densidade básica e dimensões dos traqueídeos da madeira de *Pinus taeda* L. **Revista Instituto Florestal**, [s. l.], v. 19, n. 2, p. 119-127, 2007.

SUSIN, F. *et al.* Taxa de secagem e qualidade da madeira serrada de *Hovenia dulcis* submetida a dois métodos de secagem. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 22, n. 2, p. 243-250, 2014. DOI:10.4322/floram.2014.016

TASSISSA, G.; BURKHART, H. E.; BROOKS, T. M. Juvenile-mature wood demarcation in loblolly pine trees. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 30, p. 119-127, abr. 1998.

TRIANOSKI, R. *et al.* Variação longitudinal da densidade básica da madeira de espécies de pinus tropicais. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 3, p. 503-510, 2013.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood structure, properties, utilization**. New York: Chapman & Hall, 1991. 494 p.

Contribuição de Autoria

1 – Marcelo Bonazza

Engenheiro Florestal, Dr., Professor

<https://orcid.org/0000-0002-3985-7728> • marcelo.bonazza@ufsc.br

Contribuição: Conceituação, Curadoria de dados, Análise Formal, Investigação, Metodologia, Escrita – primeira redação, Escrita – revisão e edição

2 – Jean Alberto Sampietro

Engenheiro Florestal, Dr., Professor

<https://orcid.org/0000-0001-6555-7166> • jean.sampietro@udesc.br

Contribuição: Conceituação, Análise Formal, Metodologia, Validação, Escrita – revisão e edição

3 – Magnos Alan Vivian

Engenheiro Florestal, Dr., Professor

<https://orcid.org/0000-0001-7793-8425> • magnos.alan@ufsc.br

Contribuição: Análise Formal, Validação, Escrita – revisão e edição

4 – Raul Silvestre

Engenheiro Florestal

<https://orcid.org/0000-0002-7907-7566> • raul.lavoroflorestal@gmail.com

Contribuição: Conceituação, Metodologia, Supervisão, Validação

5 – Karina Soares Modes

Engenheira Florestal, Dra., Professora

<https://orcid.org/0000-0002-2249-2873> • karina.modes@ufsc.br

Contribuição: Validação, Escrita – revisão e edição

Como citar este artigo

Bonazza, M.; Sampietro, J. A.; Vivian, M. A.; Silvestre, R.; Modes, K. S. Efeito da idade, sortimento e tempo de estocagem na densidade verde da madeira de *Pinus taeda* L.. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 32, n. 2, p. 735-756, 2022. DOI 10.5902/1980509848083. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509848083>.