

ARTIGO ORIGINAL

A qualidade morfológica de mudas de *Pinus taeda* afeta o seu crescimento em campo no longo prazo?

Does the morphological quality of Pinus taeda seedlings affect their long-term field growth?

Paulo André Trazzi¹ , Juscelina Arcanjo dos Santos² , Mario Dobner Júnior³ , Antonio Rioyei Higa⁴ , Diego Fernando Roters⁵ , Marcos Vinicius Winckler Caldeira⁶ 

¹Universidade do Estado de Minas Gerais – UEMG, Ituiutaba, MG, Brasil

²Universidade Federal de Lavras – UFLA, Lavras, MG, Brasil

³Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Curitibanos, SC, Brasil

⁴Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba, PR, Brasil

⁵Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, Lages, SC, Brasil

⁶Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, Jerônimo Monteiro, ES, Brasil

Como citar: Trazzi, P. A., Santos, J. A., Dobner Júnior, M., Higa, A. R., Roters, D. F., & Caldeira, M. V. W. (2020). A qualidade morfológica de mudas de *Pinus taeda* afeta o seu crescimento em campo no longo prazo?. *Scientia Forestalis*, 48(127), e3052. <https://doi.org/10.18671/scifor.v48n127.04>

Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar influência de características morfológicas de mudas de *Pinus taeda* no seu desempenho em campo após oito anos do plantio. Para tanto, 20 tratamentos foram avaliados por meio de uma combinação das características das mudas: altura, diâmetro do colo, tipo de recipiente, posição da muda no recipiente, tempo de permanência no viveiro, presença ou não de bifurcação e quebra da ponteira. Após a classificação das mudas, o plantio foi realizado em campo com espaçamento de 2,5 m x 2,5 m, em um delineamento em blocos ao acaso, com seis repetições e 16 plantas por parcela. Oito anos após a implantação das mudas, as árvores e o povoamento foram avaliados quanto à sobrevivência, volume individual, volume por hectare e incremento médio anual. De uma maneira geral, mudas com altura entre 25-35 cm, diâmetro de colo de 2-4 mm, não bifurcadas e com ponteira intacta são as mais indicadas para o plantio. Mudas com altura inferior a 25 cm, diâmetro do colo inferior a 2 mm, bifurcadas ou com ponteira quebrada, com mais de 10 meses de viveiro, não devem ser plantadas.

Palavras-chave: Sobrevivência; Volume, Viveiro; IMA.

Abstract

The objective of this work was to evaluate the influence of morphological characteristics of *Pinus taeda* seedlings on their field performance after eight years of planting. For this purpose, 20 treatments were evaluated by the combination of the seedling characteristics: height, collar diameter, container type, stem position in the container, residence time in the forest nursery, presence or absence of stem bifurcation and broken stem. After seedling classification, the planting was carried out in the field by spacing of 2.5 m x 2.5 m, in a randomized block design, with six replications and 16 plants per plot. Eight years after seedling planting, the trees and the stand were evaluated for survival, individual volume, volume per hectare and mean annual increment. In general, seedlings with a height of 25-35 cm, collar diameter of 2-4 mm, non-bifurcated and with intact stem are the most suitable for planting. The seedlings shorter than 25 cm, collar diameter lower than 2 mm, bifurcated or with broken stem, residence time longer than 10 months in the nursery should not be planted.

Keywords: Survival; Forest nursery; Mean annual increment.

Fonte de financiamento: Nenhuma.

Conflito de interesse: Nada a declarar.

Autor correspondente: patrazzi@gmail.com

Recebido: 9 agosto 2018.

Aceito: 6 agosto 2019.

Editor: Francides Gomes Silva Júnior.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (*Open Access*) sob a licença *Creative Commons Attribution*, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

INTRODUÇÃO

A silvicultura de *Pinus spp.* é uma prática comum no planalto da Região Sul do Brasil, onde cerca de 1,6 milhão de hectares são cultivados com este gênero (Indústria Brasileira de Árvores, 2017), destacadamente com *Pinus taeda* L. Apesar da ausência de estatísticas atualizadas e confiáveis, considerando ciclos de produção de 20 anos, estima-se que uma área de 65.000 hectares seja reflorestada anualmente com *Pinus sp.* (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2012). Isto equivale a uma demanda anual na ordem de 100 milhões de mudas.

Diversos estudos foram publicados acerca da influência dos processos silviculturais relacionados à produção de mudas e à implantação sobre o crescimento em campo de espécies do gênero *Pinus* (South et al., 2005; Dominguez-Lerena et al., 2006; Ortega et al., 2006; Pezzutti & Caldato, 2011; Dobner Júnior et al., 2013; Trazzi et al., 2019). Entretanto, poucos consideraram períodos superiores a cinco anos após o plantio no campo (Barbera et al., 2005; Aphalo & Rikala, 2003; Dobner Júnior et al., 2013) e, alguns destes, avaliaram apenas o efeito do volume dos recipientes no crescimento das plantas (South et al., 2005; Dominguez-Lerena et al., 2006; Ortega et al., 2006).

A implantação de reflorestamentos com mudas produzidas em viveiro é considerado um meio eficaz de garantir o sucesso do estabelecimento e crescimento rápido do plantio (Pinto et al., 2011). Normalmente, o baixo desempenho das mudas no campo está associado ao impacto negativo do transplante, da mata-competição, de solos pobres, da falta de preparo de solo e da baixa qualidade das mudas (Demchik & Sharpe, 2000; Ward et al., 2000; Pinto et al., 2011; Jacobs et al., 2012).

Muitas variáveis têm sido utilizadas para medir a qualidade das mudas em relação ao desempenho em campo. A maioria delas é baseada nas suas características morfológicas, que são de fácil medição e bem correlacionadas com o sucesso em campo, principalmente diâmetro de colo e altura (Dey & Parker, 1997; Pinto et al., 2011; Tsakaldimi et al., 2013).

Estudos têm demonstrado que o diâmetro de colo é a principal característica que melhor se relaciona com a sobrevivência e o crescimento de várias espécies florestais em campo após o plantio (Omi et al., 1986; Carneiro, 1995; Mattsson, 1996; Aphalo & Rikala, 2003; South et al., 2005; Close et al., 2010; Tsakaldimi et al., 2013). Entretanto, trabalhos que relacionam simultaneamente vários aspectos morfológicos das mudas e o seu desempenho em campo no longo prazo são raros e fundamentais para um melhor entendimento do processo de produção de mudas e os critérios mais adequados para análise da qualidade destas.

A produção de mudas de *P. taeda* é uma atividade econômica relevante, carente de análises mais abrangentes em termos de características morfológicas e tempo de acompanhamento após o plantio. Neste contexto, objetivou-se com o presente estudo a análise da influência de características morfológicas (altura, diâmetro de colo, posição, bifurcação ou quebra de ponteira) de mudas de *Pinus taeda* e o seu desempenho em campo após oito anos do plantio.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido no Primeiro Planalto Catarinense, município de Rio Negrinho, SC, em área que pertencera a uma empresa florestal do ramo de toras, madeira serrada, cavaco e madeira de *Pinus sp* para móveis e embalagens. O clima é do tipo Cfb, com precipitação anual média de 1.750 mm, temperatura anual média de 18°C, temperatura máxima média de 23°C e mínima média de 13°C, com ocorrência de até 10 geadas por ano (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, 2009, unpublished data).

As mudas de *Pinus taeda* foram produzidas em viveiro, a partir de sementes coletadas em um pomar clonal testado. A dormência fisiológica das sementes foi superada pelo método do pré-esfriamento, mantendo-as umedecidas e em temperatura de 5°C durante 28 dias (Brasil, 2009).

Os 20 tratamentos avaliados foram uma combinação de características das mudas: altura e diâmetro do colo, tipo de recipiente, posição da muda no recipiente, tempo de permanência no viveiro, presença ou não de bifurcação e quebra da ponteira, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Características dos diferentes tratamentos utilizados em função das variáveis morfológicas das mudas de *Pinus taeda* em viveiro.

	ALTURA (cm)	DAC (mm)	POSIÇÃO NO TUBETE	TEMPO DE VIVEIRO (meses)	Bifurcação	Quebra de ponteira
T1	25 - 35	2 - 3	Centro	7	Não	Não
T2	25 - 35	2 - 3	Centro	7	Sim	Não
T3	25 - 35	2 - 3	Centro	7	Não	Sim
T4	25 - 35	2 - 3	Lateral	7	Não	Sim
T5	15 - 25	2 - 3	Centro	7	Não	Não
T6	10 - 15	1 - 2	Centro	7	Não	Não
T7	15 - 25	3 - 4	Centro	7	Não	Sim
T8	10 - 15	1 - 2	Centro	7	Não	Sim
T9	15 - 25	2 - 3	Lateral	7	Não	Não
T10	25 - 35	2 - 3	Centro	7	Não	Sim
T11	15 - 25	2 - 3	Centro	7	Não	Não
T12	< 10	1 - 2	Centro	7	Não	Não
T13	25 - 35	2 - 3	Centro	10	Não	Não
T14	15 - 25	2 - 3	Centro	10	Não	Não
T15	25 - 35	2 - 3	Lateral	10	Não	Não
T16	25 - 35	2 - 3	Centro	10	Não	Sim
T17	10 - 15	1 - 2	Centro	10	Não	Não
T18	10 - 15	3 - 4	Centro	12	Não	Não
T19	10 - 15	3 - 4	Centro	14	Não	Não
T20	50 - 70	5 - 7	Saco plástico	15-20	Não	Não

O tratamento T1, por representar a condição ideal, praticada pela maioria dos viveiros, foi analisado como sendo o tratamento controle. Por outro lado, o tratamento T20, com tempo de viveiro de até 20 meses e recipientes com 800 cm³, foi estabelecido para representar o extremo oposto à condição empregada comercialmente (T1).

As mudas foram produzidas em tubetes cônicos de secção circular com quatro frisos internos longitudinais, com 12,5 cm de altura e 3 cm de diâmetro na parte superior interna, totalizando 60 cm³ de volume (com a exceção do tratamento T20). Os recipientes foram preenchidos com substrato comercial florestal, a base de casca de pinus bioestabilizada. No momento da mistura dos substratos, foram adicionados fertilizantes conforme recomendação proposta por Valeri & Corradini (2000). Os autores recomendam utilizar 150 g de N, 300 g de P₂O₅ e 100 g de K₂O por metro cúbico de substrato. Também foram realizadas adubações de cobertura semanais (Valeri & Corradini, 2000): 1.000 g de sulfato de amônio e 300 g de cloreto de potássio diluídos em 100 litros de água (suficiente para 10 mil tubetes).

As medições de altura da parte aérea e do diâmetro do colo foram efetuadas utilizando-se régua graduada e paquímetro digital. A altura foi considerada como o comprimento desde o colo até o ápice da planta. O diâmetro do colo foi medido na altura do nível da parte superior do tubete. Também foram classificadas mudas quanto à sua posição no tubete, sendo consideradas as posições lateral ou central. O tempo de viveiro foi iniciado a partir da semeadura até o momento da classificação e definição dos tratamentos, prévias ao plantio em campo. As mudas bifurcadas, utilizadas apenas no tratamento T2, foram aquelas que não apresentavam dominância apical e quando pelo menos dois ápices apresentaram altura semelhante. A presença da quebra da ponteira também compôs a classificação dos tratamentos, sendo decorrente do manuseio incorreto das mudas.

O plantio das mudas, classificadas quanto às características de cada tratamento, foi realizado em campo com espaçamento de 2,5 m x 2,5 m, numa área de 12 mil m², em um delineamento em blocos ao acaso, com seis repetições e 16 plantas por parcela.

Após oito anos de crescimento, o diâmetro à altura do peito (1,30 m) de todos os indivíduos remanescentes foi medido com fita diamétrica e a altura de 450 árvores foi mensurada com hipsômetro Vertex. Os pares de dados foram usados para ajuste de equações hipsométricas para estimar as demais alturas. Os modelos de Assmann, Curtis, Henricksen, linear simples e Stofells foram testados. A escolha do melhor modelo foi realizada com base no coeficiente de determinação ajustado (R²_{aj}), erro padrão da estimativa em percentagem

(S_{yx} %) e análise gráfica dos resíduos. O modelo hipsométrico com melhor ajuste foi o de Curtis, cujos valores do R^2_{aj} e S_{yx} % foram de 0,76 e 3,5%, respectivamente. Tais estatísticas de qualidade de ajuste, juntamente com uma distribuição não tendenciosa dos resíduos indicam bom ajuste e eficiência na estimativa das alturas não medidas em campo.

$$\log(h) = 1,21855 - 2,74121 \left(\frac{1}{dap} \right) \tag{1}$$

Modelo de Curtis, onde: log = logaritmo na base 10; h = altura em metros; dap = diâmetro à altura do peito em cm.

Os tratamentos foram avaliados quanto à sobrevivência das mudas, volume individual e por hectare após oito anos do plantio, e ao incremento médio anual (IMA) em volume. A análise do IMA, apesar de ser uma consequência do estoque volumétrico por hectare, é interessante por ser uma variável de grandeza conhecida e de fácil comparação, inclusive entre outros locais. Para o cálculo do volume individual foi utilizado a área transversal obtida a partir do dap e um fator de forma de 0,47. Este fator foi fornecido pela empresa e obtido a partir da cubagem de árvores em condições semelhantes (local, idade, manejo e material genético) nos seus inventários florestais.

$$v_i = g \times h \times ff \tag{2}$$

Onde: v_i = volume estimado em m^3 ; g = área transversal em m^2 ; h = altura em m; ff = fator de forma.

As análises estatísticas foram realizadas no software SPSS 19. Com a confirmação da normalidade, pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, e da homogeneidade de variâncias pelo teste de Levene, a comparação das médias foi realizada pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro, após confirmação da significância pelo teste F (ANOVA, $p < 0,05$). Visando melhores respostas sobre a influência das características utilizadas nos tratamentos, também foram obtidas comparações entre as médias por contrastes ortogonais, conforme Tabela 2.

Tabela 2. Contrastes ortogonais formados por grupos de médias com características semelhantes nos tratamentos utilizados em função das variáveis morfológicas das mudas de *Pinus taeda* em viveiro.

Contraste	Comparação das médias	Características das mudas produzidas
D1	$(4 T1) - (T6 + T8 + T12 + T17) = 0$	Controle vs Diâmetro (1-2 mm)
D2	$(11 T1) - (T2 + T3 + T4 + T5 + T9 + T10 + T11 + T13 + T14 + T15 + T16) = 0$	Controle vs Diâmetro (2-3 mm)
D3	$(3 T1) - (T7 + T18 + T19) = 0$	Controle vs Diâmetro (3-4 mm)
A1	$(6 T1) - (T6 + T8 + T12 + T17 + T18 + T19) = 0$	Controle vs Altura (< 15 cm)
A2	$(5 T1) - (T5 + T7 + T9 + T11 + T14) = 0$	Controle vs Altura (15-25 cm)
A3	$(7 T1) - (T2 + T3 + T4 + T10 + T13 + T15 + T16) = 0$	Controle vs Altura (25-35 cm)
TEM1	$11 T1 - (T2 + T3 + \dots + T11 + T12) = 0$	Tempo das mudas no viveiro (Controle vs 7 meses)
TEM2	$5 T1 - (T13 + T14 + T15 + T16 + T17) = 0$	Tempo das mudas no viveiro (Controle vs 10 meses)
TEM3	$2 T1 - (T18 + T19) = 0$	Tempo das mudas no viveiro (Controle vs 12-14 meses)
QP	$(T1 + T2 + T5 + T6 + T9 + T11 + T12 + \dots + T19) - (13/6) (T3 + T4 + T7 + T8 + T10) = 0$	Sem quebra de ponteira vs Com quebra de ponteira
BIF	$(18 T2) - (T1 + T2 + \dots + T18 + T19) = 0$	Bifurcadas vs Não-bifurcadas
PT	$(T1 + T2 + T3 + T5 + T6 + T7 + T8 + T10 + \dots + T14 + T16 + \dots + T19) - (16/3) (T4 + T9 + T15) = 0$	Posição da muda no tubete (Centro vs Lateral)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aos oito anos de idade, os valores médios de dap e altura observados foram 19,1 cm (com mínimo e máximo de 17 e 21 cm) e 11,7 m (com mínimo e máximo 10 e 13 m), respectivamente. As médias de sobrevivência, volume individual, volume por hectare e incremento médio anual em volume, aos 8 anos de idade das plantas, apresentaram diferenças significativas ($p < 0,01$) entre os 20 tratamentos avaliados (Tabela 3).

Tabela 3. Sobrevivência (%), volume individual (v_i , m^3), volume por hectare (V , $m^3 ha^{-1}$) e incremento médio anual em volume (IMA, $m^3 ha^{-1} ano^{-1}$) após 8 anos do plantio em campo das mudas de *Pinus taeda* submetidas a diferentes tratamentos.

Tratamento	Sobrevivência (%)	v_i (m^3)	V ($m^3 ha^{-1}$)	IMA ($m^3 ha^{-1} ano^{-1}$)
T1	100,0 a	0,179 b	286 b	36 b
T2	87,5 b	0,165 c	228 c	28 c
T3	97,9 a	0,167 c	262 b	33 b
T4	96,9 a	0,188 b	291 b	36 b
T5	93,8 a	0,177 b	267 b	33 b
T6	93,8 a	0,163 c	244 c	30 c
T7	97,9 a	0,179 b	280 b	35 b
T8	79,2 c	0,166 c	209 c	26 d
T9	97,9 a	0,169 c	264 b	33 b
T10	96,9 a	0,187 b	290 b	36 b
T11	97,9 a	0,174 c	272 b	34 b
T12	90,6 b	0,158 c	230 c	29 c
T13	99,0 a	0,191 b	303 b	38 b
T14	92,7 a	0,167 c	246 c	31 c
T15	99,0 a	0,167 c	265 b	33 b
T16	99,0 a	0,174 c	276 b	34 b
T17	95,8 a	0,155 c	236 c	29 c
T18	88,5 b	0,142 c	202 c	25 d
T19	85,4 b	0,156 c	214 c	27 d
T20	100,0 a	0,215 a	343 a	43 a

Médias seguidas por uma mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Sobrevivência

Aos oito anos de idade do povoamento, a menor sobrevivência encontrada foi de 79%, como consequência de mudas com o diâmetro de colo entre 1-2 mm, altura entre 10-15 cm e ponteira quebrada (T8) – mudas estas que poderiam ser facilmente desclassificadas. Os tratamentos T1 (controle) e T20 (recipiente com 800 cm^3) apresentaram 100% de sobrevivência e, semelhantemente a estes, a maioria dos demais tratamentos avaliados.

Apesar dos tratamentos T18 e T19, com 12-14 meses de viveiro, terem apresentado baixa sobrevivência, este resultado parece não ser consequência do tempo de viveiro, mas das características morfológicas das mudas. Ambos os tratamentos foram formados com mudas com altura de 10-15 cm e diâmetro de colo de 3-4 mm, ou seja, mudas relativamente baixas, com diâmetro de colo relativamente grosso, resultando um desequilíbrio morfológico. Reforça esta conclusão o fato de mudas com altura entre 10-15 cm, porém com diâmetro de colo entre 1-2 mm (T17) terem apresentado sobrevivência semelhante aos melhores tratamentos.

Em geral, os fatores que influenciaram negativamente e significativamente a sobrevivência foram: altura inferior a 15 cm, diâmetro do colo inferior a 2 mm, bifurcação e quebra de ponteira. Resultado este semelhante ao encontrado por South et al. (2005). Os

autores observaram relação significativa e positiva entre a sobrevivência e o diâmetro do colo em mudas de *Pinus palustris* Mill. produzidas pelo sistema de raiz nua, no sudeste do Alabama, após dois anos do plantio. Ainda neste trabalho, também foi encontrado que as mudas produzidas em tubetes, com 9 mm de diâmetro de colo, apresentaram a maior média de sobrevivência após dois anos de plantio em campo. No entanto, a partir de 10 mm de diâmetro de colo, as médias de sobrevivência das mudas começaram a diminuir, chegando a uma média inferior a 10% no tratamento cujas mudas apresentavam diâmetro igual a 13 mm, o maior avaliado (South et al., 2005).

Crescimento

O tratamento cujas mudas foram produzidas em sacos plásticos com 800 cm³ de volume (T20), resultando mudas com altura entre 50-70 cm e diâmetro de colo de 5-7 mm em 15-20 meses de tempo de viveiro, apresentou as maiores médias de volume individual, volume ha⁻¹e, consequentemente, IMA em volume (Tabela 1). Este tratamento resultou um IMA de 43 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, 34% superior à média geral do experimento (32 m³ ha⁻¹ ano⁻¹), e 20% superior ao controle (T1, 36 m³ ha⁻¹ ano⁻¹). Apesar do excelente resultado, a utilização comercial dependeria de uma análise dos custos de produção, transporte e plantio, certamente muito superiores ao padrão comercial atual (T1). Aspectos estes não avaliados no presente estudo.

Os fatores que afetaram de forma negativa o crescimento em volume individual, estoque por hectare e IMA em volume foram semelhantes aos que afetaram a sobrevivência. Mudas com altura inferior a 25 cm, diâmetro do colo inferior a 2 mm, bifurcadas ou com ponteira quebrada, com mais de 10 meses de viveiro, produzidas em tubetes com 60 cm³, não devem ser plantadas. A posição não centralizada da muda no tubete, aparentemente, não prejudicou o crescimento destas no campo.

O atual padrão de produção de mudas (T1) é eficiente para a obtenção de povoamentos de boa qualidade e crescimento. Em resumo, deve-se utilizar mudas com altura entre 25-35 cm, diâmetro de colo de 2-4 mm, não bifurcadas e com ponteira intacta. Respeitadas estas características morfológicas das mudas, não há problemas em utilizar mudas com até 10 meses de viveiro.

Os resultados encontrados no presente estudo são coerentes com trabalhos anteriores que avaliaram a influência do volume do recipiente para o crescimento de espécies florestais em campo que, de uma maneira geral, demonstraram haver maior crescimento quando as mudas são produzidas em recipientes com maiores volumes (Dominguez-Lerena et al., 2006; Haase et al., 2006; Barbera et al., 2005; Dobner Júnior et al., 2013).

Dobner Júnior et al. (2013) avaliaram a influência do volume do tubete (60 e 200 cm³) e do método do plantio (sacho e pá chilena) no crescimento de um povoamento de *P. taeda* no Sul do Brasil. Embora as mudas produzidas nos tubetes maiores proporcionaram maior crescimento em altura nos dois primeiros anos do plantio e, diferentemente do observado no presente estudo, os autores não observaram diferenças significativas no dape no volume por hectare aos quatro e nove anos de idade.

Em função da grande quantidade de variáveis sendo analisadas ao mesmo tempo, os resultados obtidos em virtude das diferentes características avaliadas serão abordados em maior detalhe a partir da comparação das médias dos contrastes ortogonais descritos na Tabela 2.

Contrastes ortogonais

Na Tabela 4 são apresentados os valores das diferenças entre os contrastes propostos neste estudo referentes às médias de sobrevivência, volume individual, volume por hectare e incremento médio anual.

Tabela 4. Diferença entre as médias das comparações dos contrastes ortogonais avaliados para sobrevivência (%), volume individual (v_i , m^3), volume por hectare (V , $m^3 ha^{-1}$) e incremento médio anual (IMA, $m^3 ha^{-1} ano^{-1}$).

Contraste	Sobrevivência (%)	v_i (m^3)	V ($m^3 ha^{-1}$)	IMA ($m^3 ha^{-1} ano^{-1}$)
D1	10,2 **	0,018 *	56,3 **	7,0 **
D2	3,8 ^{ns}	0,004 ^{ns}	16,6 ^{ns}	2,1 ^{ns}
D3	9,4 **	0,020 *	54,0 **	6,8 **
A1	11,1 **	0,022 **	63,6 **	7,9 **
A2	4,0 *	0,006 ^{ns}	20,4 *	2,6 *
A3	3,4 ^{ns}	0,002 ^{ns}	12,4 ^{ns}	1,5 ^{ns}
TEM1	4,3 ^{ns}	0,007 ^{ns}	20,2 ^{ns}	2,5 ^{ns}
TEM2	2,9 ^{ns}	0,008 ^{ns}	20,8 ^{ns}	2,6 ^{ns}
TEM3	13,0 **	0,030 *	78,0 **	9,8 **
QP	-0,6 ^{ns}	-0,011 ^{ns}	-17,5 ^{ns}	-2,2 ^{ns}
BIF	7,1 **	0,005 ^{ns}	29,3 *	3,7 *
PT	-4,4 ^{ns}	-0,006 ^{ns}	-20,4 ^{ns}	-2,5 ^{ns}

^{ns} não significativo pelo teste t ($p>0,05$); * significativo pelo teste t ($p<0,05$); ** significativo pelo teste t ($p<0,01$). D1 = Controle vs Diâmetro (1-2 mm); D2 = Controle vs Diâmetro (2-3 mm); D3 = Controle vs Diâmetro (3-4 mm); A1 = Controle vs Altura (< 15 cm); A2 = Controle vs Altura (15-25 cm); A3 = Controle vs Altura (25-35 cm); TEM1 = Tempo das mudas no viveiro (Controle vs 7 meses); TEM2 = Tempo das mudas no viveiro (Controle vs 10 meses); TEM3 = Tempo das mudas no viveiro (Controle vs 12-14 meses); QP = Sem quebra de ponteira vs Com quebra de ponteira; BIF = Bifurcadas vs Não-bifurcadas; PT = Posição da muda no tubete (Centro vs Lateral).

Diâmetro do colo

Os contrastes D1 e D3, onde o tratamento controle (T1, diâmetro de colo entre 2-3 mm) é comparado às mudas com diâmetro de colo entre 1-2 e 3-4 mm, apresentaram valores positivos e significativos, indicando superioridade das mudas com diâmetro de colo entre 2-3 mm para todas as características avaliadas. Vale ressaltar que as mudas com 3-4 mm de diâmetro comparadas no contraste D3 também apresentavam, no momento do plantio, altura inferior a 25 cm, fato que pode ter influenciado o desempenho destas em campo.

As mudas classificadas com 2-3 mm de diâmetro apresentaram valores semelhantes ao tratamento controle (D2, $p>0,05$) para as variáveis avaliadas após oito anos de crescimento em campo.

Mudas com maior diâmetro de colo apresentam melhor equilíbrio do crescimento da parte aérea e é tido como a característica morfológica que melhor se ajusta aos modelos de predição de sobrevivência em campo (Carneiro, 1995). Entretanto, a análise desta característica precisa ser realizada de forma conjunta com a altura das mudas. Mudas com diâmetro de colo de 3-4 mm, porém com altura de 10-15 cm (T18 e T19), apresentaram baixa sobrevivência e crescimento reduzido.

De forma semelhante, vários trabalhos têm demonstrado a relação entre desempenho em campo e o diâmetro do colo das mudas. Tsakalimi et al. (2013) concluíram que a sobrevivência pode ser predita com sucesso a partir de características morfológicas das mudas para as cinco espécies avaliadas durante dois anos de crescimento em campo na região do Mediterrâneo. O diâmetro do colo foi a variável que apresentou maior acurácia na predição da sobrevivência das espécies avaliadas, sendo considerado um valor ideal igual a 5 mm para *Pinus halepensis* e 7 mm para as demais espécies.

De forma semelhante ao observado no presente estudo, Omi et al. (1986) encontraram alta correlação entre diâmetro de colo, e o crescimento de *Pseudo tsugamenziesii* após um ano do plantio. Da mesma forma, Mattsson (1996) concluiu que o diâmetro de colo das mudas é a variável mais confiável para predizer o crescimento e a sobrevivência de espécies florestais em campo.

De forma contrária, Pezzutti & Caldato (2011), trabalhando com mudas de *P. taeda* produzidas em tubetes, classificadas em função do diâmetro de colo, não encontraram diferenças significativas aos 4 anos de idade, tanto em relação à sobrevivência (85%) como ao crescimento ($v_i = 0,032 \text{ m}^3$) das mudas em campo.

Altura

Analisando os contrastes que avaliam a influência da altura das mudas para o crescimento destas no campo (Tabela 4), observa-se que o tratamento controle (h: 25-35 cm) apresentou médias superiores e significativas às mudas com altura inferior a 15 cm (contraste A1) para todas as variáveis avaliadas. Fato semelhante é notado no contraste A2 (controle vs mudas com 15-25 cm de altura), com exceção do volume individual, as mudas do tratamento T1 apresentaram médias superiores para sobrevivência, volume por hectare e IMA. Não foram encontradas diferenças significativas entre as mudas classificadas com altura de 25-35 cm e o tratamento controle (contraste A3).

Os resultados obtidos no presente estudo confirmam uma tendência observada por Tsakalimi et al. (2013), que relacionaram positivamente a altura com a sobrevivência em quatro das cinco espécies florestais avaliadas após dois anos de crescimento em campo na região do Mediterrâneo.

Entretanto, Mattsson (1996), em trabalho de revisão de literatura, afirma que a correlação entre altura inicial e o desempenho em campo é normalmente contraditório para os trabalhos revisados por ele.

De forma contrária ao observado no presente estudo, Close et al. (2010), observaram, após quatro anos de plantio na Nova Zelândia, que mudas com 15 cm de altura de *Eucalyptus globulus* apresentaram maior crescimento em campo que mudas com 25 cm de altura.

Tempo

Por meio dos resultados dos contrastes apresentados na Tabela 4, é possível observar que não houve diferenças significativas nos contrastes TEM1 e TEM2, quando as mudas do tratamento controle são comparadas às mudas com 7 ou 10 meses de idade, respectivamente. O contraste TEM3 apresentou resultados positivos e significativos, indicando que as mudas produzidas no tratamento controle foram superiores, para as variáveis avaliadas, às mudas dos tratamentos T18 e T19, com 12 e 14 meses de idades, respectivamente. Vale ressaltar que as mudas que representaram os tratamentos T18 e T19 apresentavam no momento do plantio altura inferior a 15 cm, fato que pode ter contribuído para tais resultados.

Quebra da ponteira, bifurcação e posição no tubete

É possível observar na Tabela 4, que os contrastes QP e PT apresentaram resultados não significativos, sugerindo que não houve diferenças no crescimento entre mudas que apresentavam ou não quebra de ponteira no momento do plantio; ou quando as mudas estavam localizadas no centro ou na lateral dos tubetes.

No entanto, quando se comparou as mudas bifurcadas (T2) com as mudas não bifurcadas (contraste BIF), são observados resultados negativos e significativos, indicando que para as variáveis sobrevivência, volume por hectare e incremento médio anual, mudas que apresentavam bifurcação no momento do plantio, apresentaram menor crescimento após oito anos em campo.

CONCLUSÃO

Considerando o desempenho de mudas de *P. taeda* após oito anos do plantio, conclui-se que devem ser utilizadas somente aquelas com altura entre 25-35 cm, diâmetro de colo de 2-4 mm, não bifurcadas e com ponteira intacta. A posição não centralizada da muda no tubete, aparentemente, não prejudica o crescimento destas no campo.

Mudas com altura inferior a 25 cm, diâmetro do colo inferior a 2 mm, bifurcadas, com ponteira quebrada ou com mais de 10 meses de viveiro, não devem ser plantadas, pois afetam negativamente a sobrevivência e o crescimento dos indivíduos.

A utilização de recipientes maiores (800 cm³), com a produção de mudas com 50-70 cm de altura e diâmetro de colo de 5-7 mm em um período de 15-20 meses mostrou-se capaz de elevar o incremento médio anual em volume por hectare aos 8 anos de idade das árvores em mais de 30% em relação à atual prática comercial.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por meio da concessão de bolsas de pesquisa; e também à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) pelo apoio financeiro à publicação.

REFERÊNCIAS

- Aphalo, P., & Rikala, R. (2003). Field performance of silver-birch planting-stock grown at different spacing and in containers of different volume. *New Forests*, 25(2), 93-108. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1022618810937>.
- Barbera, G. G., Martinez-Fernandez, F., Alvarez-Rogel, J., Albaladejo, J., & Castillo, V. (2005). Short- and intermediate-term effects of site and plant preparation techniques on reforestation of a Mediterranean semiarid ecosystem with *Pinus halepensis* Mill. *New Forests*, 29(2), 177-198. <http://dx.doi.org/10.1007/s11056-005-0248-6>.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2009). *Regras para análise de sementes* (395 p.). Brasília, DF: Mapa/ACS.
- Carneiro, J. G. A. (1995). *Produção e controle de qualidade de mudas florestais*. Curitiba: UFPR/FUPEF, Campos: UENF.
- Close, D. C., Paterson, S., Corkrey, R., & McArthur, C. (2010). Influences of seedling size, container type and mammal browsing on the establishment of *Eucalyptus globulus* in plantation forestry. *New Forests*, 39(1), 105-115. <http://dx.doi.org/10.1007/s11056-009-9158-3>.
- Demchik, M. C., & Sharpe, W. E. (2000). The effect of soil nutrition, soil acidity and drought on northern red oak (*Quercus rubra* L.) growth and nutrition on Pennsylvania sites with high and low red oak mortality. *Forest Ecology and Management*, 136(1-3), 199-207. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00307-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00307-2).
- Dey, D. C., & Parker, W. C. (1997). Morphological indicators of stock quality and field performance of red oak (*Quercus rubra* L.) seedlings underplanted in a central Ontario shelterwood. *New Forests*, 14(2), 145-156. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1006577201244>.
- Dobner Júnior, M., Trazzi, P. A., Higa, A. R., & Seitz, R. A. (2013). Influência do volume do tubete e do método de plantio no crescimento de um povoamento de *Pinus taeda* aos nove anos de idade. *Scientia Forestalis*, 41, 7-14.
- Dominguez-Lerena, S., Herrero Sierra, N., Carrasco Manzano, I., Ocaña Bueno, L., Peñuelas Rubira, J. L., & Mexal, J. G. (2006). Container characteristics influence *Pinus pinea* seedling development in the nursery and field. *Forest Ecology and Management*, 221(1-3), 63-71. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2005.08.031>.
- Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – EPAGRI. (2009). *Estação Meteorológica de Rio Negrinho – Santa Catarina*. Unpublished data. Florianópolis: EPAGRI.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO. (2012). *Guide for country reporting for FRA 2015* (FRA 2015 Working Paper, 103 p.). Rome: Forestry Department, Forest Resources Assessment Programme, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Haase, D. L., Rose, R., & Trobaugh, J. (2006). Field performance of three stock size of Douglas-fir container seedlings grown with slow-release fertilizer in the nursery growing medium. *New Forests*, 31(1), 1-24. <http://dx.doi.org/10.1007/s11056-004-5396-6>.
- Indústria Brasileira de Árvores – IBÁ. (2017). *Relatório 2017* (80 p.). Brasília: FAO.
- Jacobs, D. F., Goodman, R. C., Gardiner, E. S., Salifu, K. F., Overton, R. P., & Hernandez, G. (2012). Nursery stock quality as an indicator of bottomland hardwood forest restoration success in the Lower

- Mississippi River Alluvial Valley. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 27(3), 255-269. <http://dx.doi.org/10.1080/02827581.2011.628948>.
- Mattsson, A. (1996). Predicting field performance using seedling quality assessment. *New Forests*, 13, 223-248.
- Omi, S. K., Howe, G. T., & Duryea, M. L. (1986). *First-year field performance of Douglasfir seedlings in relation to nursery characteristics* (General technical report RM, Vol. 137, pp. 29-34). USA: Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, USDA.
- Ortega, U., Majada, J., Mena-Petite, A., Sanchez-Zabala, J., Rodriguez-Iturrizar, N., Txarterrina, K., Azpitarte, J., & Duñabeitia, M. (2006). Field performance of *Pinus radiata* D. Don produced in nursery with different types of containers. *New Forests*, 31(1), 97-112. <http://dx.doi.org/10.1007/s11056-004-7364-6>.
- Pezzutti, R. V., & Caldato, S. L. (2011). Sobrevivência e crescimento inicial de mudas de *Pinus taeda* L. com diferentes diâmetros de colo. *Ciência Florestal*, 21(2), 355-362. <http://dx.doi.org/10.5902/198050983240>.
- Pinto, J. R., Marshall, J. D., Dumroese, R. K., Davis, A. S., & Cobos, D. R. (2011). Establishment and growth of container seedlings for reforestation: a function of stocktype and edaphic conditions. *Forest Ecology and Management*, 261(11), 1876-1884. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2011.02.010>.
- South, D. B., Harris, S. W., Barnett, J. P., Hains, M. J., & Gjerstad, D. H. (2005). Effect of container type and seedling size on survival and early height growth of *Pinus palustris* seedlings in Alabama, U.S.A. *Forest Ecology and Management*, 204(2-3), 385-398. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2004.09.016>.
- Trazzi, P. A., Santos, J. A., Caldeira, M. V. W., Roters, D. F., Carvalho, D., & Dobner Júnior, M. (2019). Initial growth of *Pinus taeda* by fertilization response at planting. *Floresta e Ambiente*, 26(spe 1), 1-9. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.037018>.
- Tsakalimi, M., Ganatsas, P., & Jacobs, D. F. (2013). Prediction of planted seedling survival of five Mediterranean species based on initial seedling morphology. *New Forests*, 44(3), 327-339. <http://dx.doi.org/10.1007/s11056-012-9339-3>.
- Valeri, S. V., & Corradini, L. (2000). Fertilização em viveiro para produção de mudas de *Eucalyptus* e *Pinus*. In J. L. M. Gonçalves & V. Benedetti (Eds.), *Nutrição e fertilização florestal*. Piracicaba: IPEF.
- Ward, J. S., Gent, M. P. N., & Stephens, G. R. (2000). Effects of planting stock quality and browse protection-type on height growth of northern red oak and eastern white pine. *Forest Ecology and Management*, 127(1-3), 205-216. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00132-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00132-2).

Contribuição dos autores: PAT: conceituação, curadoria de dados, análise formal, obtenção de financiamento, investigação, metodologia, administração do projeto, recursos, software, supervisão, validação, visualização, escrita – primeira redação, escrita – revisão e edição; JAS: supervisão, validação, visualização, escrita – primeira redação, escrita – revisão e edição; MDJ: supervisão, validação, visualização, escrita – primeira redação, escrita – revisão e edição; ARH: supervisão, validação, visualização, escrita – primeira redação, escrita – revisão e edição; DFR: supervisão, validação, visualização, escrita – primeira redação, escrita – revisão e edição; MWVC: supervisão, validação, visualização, escrita – primeira redação, escrita – revisão e edição.