

ARTIGO ORIGINAL

Influência do substrato na composição do custo de produção e qualidade de mudas de *Pinus taeda* L. em viveiro florestal**Influence of substrate on production cost composition and seedling quality of *Pinus taeda* L. in forest nursery**

Guilherme Nichele da Rocha^{1,2*} , Lais Madaschi³, Augusto Massaro Gonzaga⁴,
Andressa Vasconcelos Flores⁵ , Rodrigo Eiji Hakamada^{1,2} 

¹Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais – IPEF, Piracicaba, SP, Brasil

²Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ, Universidade de São Paulo – USP, Piracicaba, SP, Brasil

³ArborGen Inc., Campinas, SP, Brasil

⁴Una Florestal, Araraquara, SP, Brasil

⁵Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Curitibanos, SC, Brasil

**INFORMAÇÕES DO
ARTIGO**

Fonte de financiamento: Nenhuma.
Conflito de interesse: Nada a declarar.
*Autor correspondente: nichele.rocha@gmail.com

Recebido: 27 junho 2024.

Aceito: 28 maio 2025.

Editor: Alexandre de Vicente Ferraz.

Como citar: Rocha, G. N., Madaschi, L., Gonzaga, A. M., Flores, A. V., & Hakamada, R. E. (2025). Influência do substrato na composição do custo de produção e qualidade de mudas de *Pinus taeda* L. em viveiro florestal. *Scientia Forestalis*, 53, e4098. <https://doi.org/10.18671/scifor.v53.03>

R E S U M O

O crescimento de florestas plantadas no Brasil e a importância do *Pinus taeda*, destacam a necessidade de substratos adequados nos viveiros, pois influenciam diretamente na qualidade e custos da produção. O objetivo deste trabalho foi (a) analisar a emergência de plântulas de *Pinus taeda* em diferentes substratos; (b) identificar e quantificar a interferência de matocompetição no tubete no rendimento operacional; (c) identificar como o substrato influi sobre os custos de produção e (d) se interfere na qualidade das mudas. O experimento foi realizado em viveiro de pesquisa florestal testando os substratos Comercial A e Comercial B, e substratos reaproveitados do processo de seleção e de lavagem. Foram analisadas taxa de germinação das sementes, velocidade de emergência das plântulas, capacidade de retenção de água, frequência de matocompetição nos tubetes, rendimento operacional de seleção de mudas, custos de produção e qualidade das mudas de *P. taeda*. Quanto aos resultados obtidos: (a) Observou-se maior emergência das plântulas no tratamento com 100% substrato Comercial A, pois este proporcionou maior capacidade de retenção de água do substrato e velocidade de germinação das sementes. (b) Os substratos reaproveitados apresentaram maior frequência de tubetes com matocompetição. Isto influenciou no rendimento operacional de seleção das mudas. (c) As diferentes taxas de germinação e rendimentos operacionais influenciaram na composição do custo de produção, principalmente com mão de obra. (d) Os substratos influenciaram, principalmente, no desenvolvimento radicular, com todos apresentando qualidade satisfatória. Conclui-se que o tratamento 10A é o mais indicado para produção de mudas de *P. taeda*.

Palavras-chave: Emergência de plântulas; Matocompetição em tubete; Rendimento operacional; Composição de custo.

A B S T R A C T

The growth of planted forests in Brazil and the significance of *Pinus taeda* highlight the need for suitable substrates in nurseries, as they directly influence seedling quality and production costs. This study aimed to (a) analyze the emergence of *P. taeda* seedlings in different substrates; (b) identify and quantify the impact of weed competition in the tubes on operational efficiency; (c) determine how the substrate affects production costs; and (d) assess whether it influences seedling quality. The experiment was conducted in a forest research nursery, testing the substrates Commercial A and Commercial B, as well as reused substrates from the selection and washing processes. The study evaluated seed germination rate, seedling emergence speed, water retention capacity, weed competition frequency in the tubes, operational efficiency in seedling selection, production costs, and the quality of *P. taeda* seedlings. The main findings were as follows: (a) The highest seedling emergence was observed in the treatment with 100% Commercial A substrate, which provided greater water retention capacity and higher seed germination speed. (b) Reused substrates exhibited a higher frequency of tubes with weed competition, which negatively affected the operational efficiency of seedling selection. (c) Differences in germination rates and operational efficiency influenced production costs, particularly labor expenses. (d) Substrates primarily affected root development, but all treatments resulted in seedlings of satisfactory quality. In conclusion, treatment 10A was the most suitable for *P. taeda* seedling production.

Keywords: Seedling emergence; Weed competition in tubes; Thinning operational yield; Cost composition.



1. INTRODUÇÃO

A área de floresta plantada no Brasil cresceu de 3,7 milhões de hectares em 1990 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021) para 9,94 milhões de hectares em 2023 (Indústria Brasileira de Árvores, 2021). O gênero *Pinus* apresenta grande importância, com destaque para a espécie *Pinus taeda* L., que representa 19% do plantio florestal brasileiro em 2023, totalizando 1,9 milhão de hectares (Indústria Brasileira de Árvores, 2021). As plantações de *P. taeda* estão concentradas na região sul do Brasil, especialmente nos estados do Paraná e Santa Catarina, onde as condições edafoclimáticas favorecem altas produtividades (Dobner Junior & Campoe, 2019).

A produtividade também depende das práticas de manejo e, em parte, da qualidade das mudas plantadas (Dranski et al., 2015). E esse atributo está relacionado com o regime de crescimento das mudas no viveiro, que influenciará na capacidade fisiológica das mudas no campo (Del Campo et al., 2010).

Em viveiro, um fator limitante para o desenvolvimento e qualidade das mudas é o substrato utilizado (Simões et al., 2012). Ele é responsável por fornecer as condições físicas, químicas e biológicas às mudas, principalmente nas fases iniciais de desenvolvimento (Fermino & Kämpf, 2012). Por isso, é desejável que seja uniforme em sua composição e preparo; tenha alta capacidade de retenção de água; seja isento de pragas, patógenos e sementes de plantas daninhas e; principalmente, viável economicamente (Pozza et al., 2007).

Diversos substratos são utilizados em viveiros no Brasil, como casca de pinus, turfa, vermiculita, entre diversos outros (Fernandes et al., 2006), havendo uma ampla variedade de opções. Alguns destes substratos são oriundos de resíduos da agroindústria, mas não representam, necessariamente, alternativas de menor custo, por apresentarem oscilações no preço, a depender de sua disponibilidade (Simões et al., 2012).

Para isso, analisar o tipo de substrato e rendimentos dos viveiros florestais são essenciais para compreender os custos de produção (Silva et al., 2015). A variação entre substratos pode influenciar nos custos com mão-de-obra ou máquinas e uso de adubos ou defensivos adicionais, além da qualidade das mudas. A gestão estratégica de custos representa a compreensão da estrutura dos custos de uma empresa em busca de uma vantagem competitiva (Shank & Govindarajan, 1997).

Diante disso, esta pesquisa visou: (a) analisar a emergência de plântulas de *P. taeda* nos diferentes substratos; (b) quantificar a interferência da matocompetição no rendimento operacional dentro de viveiro florestal; (c) identificar como o substrato influencia na composição dos custos de produção e (d) se interfere na qualidade das mudas de *P. taeda*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local e época do estudo

O experimento foi realizado no viveiro de pesquisa e produção de mudas da empresa ArborGen Inc.®, situado no município de Luís Antônio, interior do estado de São Paulo, nas coordenadas geográficas de 21° 32' 39,8" Sul e 47° 55' 09,5" Oeste.

As condições climáticas da região permitem classificá-la como pertencente ao clima "Cwa" segundo Köppen, caracterizado como

clima de savana tropical, com as temperaturas mais elevadas ocorrendo no período de maior precipitação, janeiro, e as temperaturas mais baixas no período de menor precipitação, julho (Fritzsos et al., 2011; Alvares et al., 2013). O experimento foi realizado entre o final de julho a início de dezembro, período em que as temperaturas médias, máximas e mínimas foram de 23 °C, 45 °C e 3,5 °C, respectivamente, e a precipitação acumulada de 32,25 mm, sendo valores diferentes da média histórica da região.

2.2. Sistema de produção

As mudas de *Pinus taeda* foram produzidas a partir de *bulk* sementes adquiridas de pomar de sementes localizado na Argentina, em seguida, submetidas a superação de dormência por meio da estratificação a frio a 04 °C por 21 dias (Brasil, 2009). A semeadura foi realizada com semeador específico, aplicando diretamente uma semente em tubetes cônicos de polipropileno rígido com seis frisos internos com volume interno útil de 55 cm³, preenchidos com substratos conforme os tratamentos descritos (Tabela 1).

Os tubetes foram acondicionados em bandejas de polipropileno com 96 células (399 tubetes.m⁻²), e após semeio, foram cobertos com sombrite alçado com 50% de sombreamento. Aos 65 dias após a semeadura, realizou-se a remoção da cobertura de sombrite, mantendo-as em ambiente aberto. Após 100 dias, foi realizado o raleamento das mudas, com remoção dos tubetes com sementes não germinadas e das plantas daninhas.

Devido as condições climáticas, foram realizadas cinco irrigações diárias de 10 minutos a cada duas horas, iniciando às 8:00 da manhã e encerrando às 16:00 da tarde do dia. Cada ciclo de irrigação foi ajustado para emitir 0,92 litros por metro quadrado, resultando no volume de 4,58 litros por metro quadrado ao dia, tido como ideal para o manejo das mudas.

As fertirrigações foram realizadas diariamente, desde o início do ciclo de germinação das sementes até os 120 dias após o semeio, três vezes na semana após esse período, sendo composta segundo a Tabela 2.

Tabela 1 - Composição dos substratos utilizados nos tratamentos.

Tratamentos	Composições
10S	Substrato 100% reaproveitado do processo de seleção/ raleio,
10L	Substrato 100% reaproveitado do processo de lavagem dos tubetes,
10A	Substrato 100% Comercial A,
6A4L	Mistura de substrato entre 60% de Comercial A e 40% reaproveitado do processo de lavagem dos tubetes,
6A4B	Mistura de substrato entre 60% de Comercial A e 40% de Comercial B,
4A6B	Mistura de substrato entre 40% de Comercial A e 60% de Comercial B,
4A6L	Mistura de substrato entre 40% de Comercial A e 60% reaproveitado do processo de lavagem dos tubetes,

Legenda: Segundo fornecedores - Comercial A: composto por turfa, vermiculita, resíduo orgânico agroindustrial classe A e calcário; Comercial B: composto por casca de pinus, vermiculita e calcário. Fonte: Autor (2024).

Tabela 2 - Quantidade de nutriente utilizado por aplicação de fertirrigação nas mudas.

Nutriente	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	B	Mn	Zn	Cu	Mo
mg dm ⁻³	586,08	55,44	364,32	142,56	63,36	47,52	2,22	0,79	7,92	0,95	0,25	0,10

Fonte: Autor (2024).

2.3. Características avaliadas

2.3.1. Taxa de emergência das plântulas e retenção de água

A taxa de emergência das plântulas foi realizada através da contagem de censo dos hipocótilos visíveis fora do substrato, com 30, 65 e 100 dias após a semeadura. RAS (Brasil, 2009) recomenda a contagem aos 28 dias, e avaliar em mais períodos permite identificar se, pelo substrato absorver menos água, a germinação ocorre tardiamente.

Para análise da retenção de água dos substratos, foram secas três amostras de 250 mL de cada tratamento por quatro horas; em seguida, foram emergidas em 75 mL de água por uma hora e, por fim, quantificado o volume drenado.

2.3.2. Matocompetição e rendimento operacional

A análise da frequência de plantas daninhas entre os tratamentos foi realizada através de censo aos 65 e 100 dias após o semeio, considerando períodos que ocorre manejo das mudas, pois influenciará diretamente no rendimento operacional das atividades.

Devido a variação na frequência de plantas daninhas entre os tratamentos, foram analisados o tempo que um mesmo colaborador levou para realizar o desbaste em cada tratamento após 100 dias do semeio.

2.3.3. Composição de custo de produção das mudas

As especificações dos custos de produção de mudas de *P. taeda* foram realizadas por meio do método tradicional de custeio, variando de acordo com o desempenho dos substratos. Estes custos de produção foram estimados aplicando todos os custos envolvidos na operacionalização do experimento, aplicando valores atualizados e presentes para a data de finalização do experimento, em 20/12/2021, com análise econômica realizada considerando o horizonte de um ano de produção, iniciando e encerrando o ciclo de produção do viveiro.

Os cálculos utilizados para estimar o ciclo total do viveiro foram:

$$\text{Mudas a produzir} = \frac{\text{Quantidade de mudas} * \text{taxa de germinação}}{\text{Taxa de expedição}}$$

$$\text{Número de bandejas necessárias} = \frac{\text{Mudas a produzir}}{\text{Número de tubetes por bandeja}}$$

$$\text{Custo total do substrato} = \text{Número de bandejas} * \text{Capacidade de substrato por bandeja} * \text{Custo do substrato por litros}$$

$$\text{Custo por atividade} = \frac{\text{Número de bandejas necessárias}}{\text{Rendimento por pessoa}}$$

Para decomposição do custo total de produção, foram rateados em: *Substrato*, os custos com aquisição e adubação dos substratos; em *Mão-de-obra*, os gastos envolvendo a contratação e manutenção de colaboradores, como transporte de funcionários e aquisição de equipamentos de proteção individuais (EPI's); em *Semente*, os custos de aquisição da quantidade necessária de sementes; e, por fim, como *Outros*, todos os outros custos relacionados a produção das mudas no viveiro, que não abordados anteriormente, como os custos fixos de aluguel, depreciação, manutenção, outorga de uso da água, material de escritório etc., além de alguns outros custos variáveis.

2.3.4. Qualidade das mudas

Aos 180 dias após a semeadura, realizou-se a análise morfológica com amostragem de 150 mudas por tratamento. As plantas utilizadas foram escolhidas aleatoriamente, tomando-se como base a altura das mudas. Foram selecionadas três classes de altura das mudas: mudas

“pequenas” (altura < 30 cm); mudas “médias” (30 cm ≤ altura ≤ 40 cm) e mudas “grandes” (altura > 40 cm). Foram avaliadas a altura da parte aérea (cm) e o diâmetro do coleto (mm), relação entre altura da parte aérea e diâmetro do colo (H/DC) e o peso de matéria seca das raízes e da parte aérea das mudas (g).

A altura da parte aérea foi determinada com auxílio de fita métrica graduada de 100 cm, enquanto o diâmetro de colo foi mensurado com paquímetro digital com precisão de 0,01 mm. A partir desses valores, determinou-se a relação H/DC.

A determinação do peso de matéria seca da parte aérea foi obtida através do corte das mudas próximo ao substrato. Enquanto, para a obtenção da massa seca radicular, as raízes foram cuidadosamente lavadas em água corrente. Posteriormente, ambos os materiais foram alocados em estufa a 70 °C, até atingirem o peso constante. Em seguida, a pesagem foi realizada em balança analítica com precisão de 0,001 g.

Os dados foram utilizados para cálculo do índice de qualidade de Dickson (IQD) (Dickson et al., 1960) (Equação 1).

$$QD = \left(\frac{PMSPA}{PMSR} \right) / \left(\frac{H}{DC} \right) + \left(\frac{PMSPA}{PMSR} \right) \quad (1)$$

em que H é a altura da parte aérea da muda (cm); DC é o diâmetro do coleto (mm); PMSPA é o peso de matéria seca da parte aérea (g) e PMSR é o peso de matéria seca de raízes (g).

2.4. Delineamento experimental e análise dos dados

Os ensaios foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizados, sendo dispostos aleatoriamente nos canteiros, devidamente identificados, composto por 50 parcelas (bandejas) por tratamento, cada uma constituída de 96 repetições.

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as variáveis significativas pelo teste F foram submetidas ao teste de Tukey a 5% de probabilidade, e quando não aceito, submetidas ao mesmo teste a 10% de probabilidade, com auxílio do programa R e RStudio versão 3.5.4 (R Development Core Team, 2014).

3. RESULTADOS

3.1. Retenção de água e taxa de emergência das plântulas

3.1.1. Taxa de emergência das plântulas

Ao avaliar a taxa de emergência das plântulas, ao longo do tempo, foi possível observar maior diferença entre os tratamentos aos 30 dias após a semeadura (Figura 1). Ao passo que, ao longo das medições, a diferença se estabilizou em até o 7,2% entre os tratamentos 10L e 10A aos 100 dias após semeio (Figura 1).

3.1.2. Retenção de água

A capacidade de retenção de água entre os diferentes tratamentos foi estatisticamente diferente (Figura 2). Esta capacidade de retenção de água está diretamente relacionada a taxa de emergência de plântulas.

3.2. Matocompetição e rendimento operacional

A matocompetição apresentou variação ao longo do tempo, com valores maiores aos 100 dias em todos os substratos. O tratamento 4A6L apresentou 8,4% de frequência de matocompetição, a maior entre os tratamentos. O maior rendimento operacional foi observado no tratamento 10A, com 13.699 mudas/homem.dia, e menor no tratamento 4A6L, com 8.922 mudas/homem.dia (Figura 3).

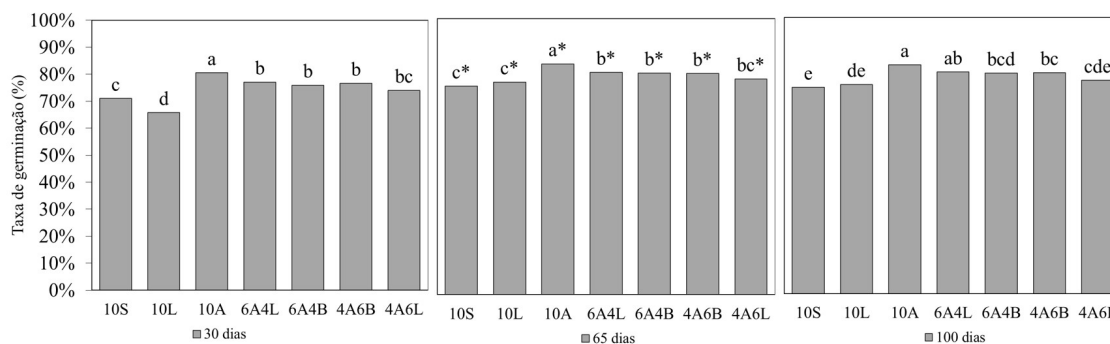


Figura 1 - Taxa de emergência das plântulas de *P. taeda* entre os diferentes substratos com 30, 65 e 100 dias após o semeio, apresentando a frequência e velocidade de emergência. Legenda: **10S**: substrato 100% reaproveitado da seleção; **10L**: substrato 100% reaproveitado da lavagem; **10A**: substrato 100% Comercial A; **6A4L**: mistura de substrato entre 60% Comercial A e 40% reaproveitado da lavagem; **6A4B**: mistura de substrato entre 60% Comercial A e 40% Comercial B; **4A6B**: mistura de substrato entre 40% Comercial A e 60% Comercial B; **4A6L**: mistura de substrato entre 40% Comercial A e 60% reaproveitado da lavagem. Diferentes letras acima dos gráficos demonstram que os tratamentos diferem estatisticamente (teste Tukey >0,05), *exceção da avaliação com 65 dias (teste Tukey >0,1). Fonte: Autor (2024).

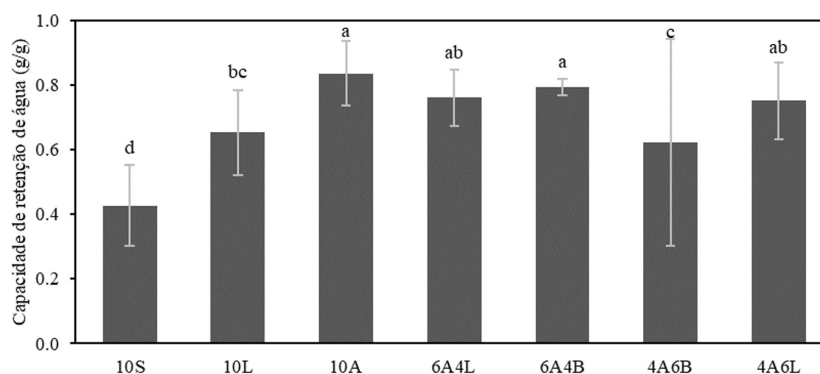


Figura 2 - Volume retido entre os diferentes substratos na análise de capacidade de retenção de água. Legenda: (g/g): grama de água retida/ grama de água submetida. **10S**: substrato 100% reaproveitado da seleção; **10L**: substrato 100% reaproveitado da lavagem; **10A**: substrato 100% Comercial A; **6A4L**: mistura de substrato entre 60% Comercial A e 40% reaproveitado da lavagem; **6A4B**: mistura de substrato entre 60% Comercial A e 40% Comercial B; **4A6B**: mistura de substrato entre 40% Comercial A e 60% Comercial B; **4A6L**: mistura de substrato entre 40% Comercial A e 60% reaproveitado da lavagem. Diferentes letras acima dos gráficos demonstram que os tratamentos diferem estatisticamente (teste Tukey >0,05). Fonte: Autor (2024).

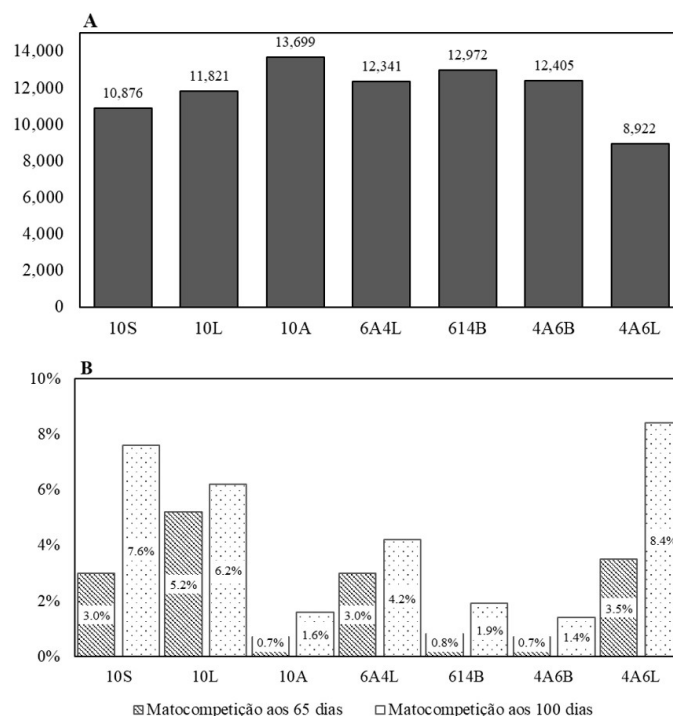


Figura 3 - A - Rendimento operacional de raleio e B - frequência de tubetes com presença de matocompetição aos 65 dias (preenchimento com faixas diagonais) e aos 100 dias (preenchimento pontilhado) nas mudas de *P. taeda* entre os diferentes substratos. Legenda: **10S**: substrato 100% reaproveitado da seleção; **10L**: substrato 100% reaproveitado da lavagem; **10A**: substrato 100% Comercial A; **6A4L**: mistura de substrato entre 60% Comercial A e 40% reaproveitado da lavagem; **6A4B**: mistura de substrato entre 60% Comercial A e 40% Comercial B; **4A6B**: mistura de substrato entre 40% Comercial A e 60% Comercial B; **4A6L**: mistura de substrato entre 40% Comercial A e 60% reaproveitado da lavagem. Fonte: Autor (2024).

3.3. Composição do custo de produção das mudas

Utilizando-se os valores encontrados nos parâmetros anteriores, e os custos fixos e variáveis do viveiro, verificou-se que a composição do custo de produção das mudas variou entre os tratamentos (Figura 4).

3.4. Qualidade das mudas

A caracterização morfológica das mudas permitiu observar diferenças significativas nas avaliações de altura da parte aérea e de peso de massa seca da parte radicular entre os tratamentos (Tabela 3).

O ranqueamento realizado pelo IQD (Índice de Qualidade de Dickson), é possível observar diferença entre os tratamentos, sendo o tratamento 10A de melhor desempenho (Figura 5).

4. DISCUSSÃO

Diferentes composições de substratos influenciaram tanto a frequência quanto a velocidade de emergência de plântulas de *Pinus taeda*. No entanto, essa diferença foi menos evidente nas avaliações tardias, indicando que o substrato teve impacto na germinação inicial e na taxa de emergência.

O tratamento 10A apresentou emergência mais rápida, atingindo 79% aos 30 dias, e 84% aos 100 dias. Já o tratamento 10L, que teve a

menor velocidade de emergência, apresentou 65% de emergência aos 30 dias e 77% aos 100 dias. Isso mostra que, inicialmente havia uma diferença de 14% na taxa de emergência entre os tratamentos, que foi reduzida para 7,2% no final do período.

Embora o substrato influencie na germinação das plântulas, a emergência em períodos mais longos tende a equalizar a diferença entre os tratamentos. A rápida emergência das plântulas no substrato permite o manuseio mais cedo das mudas, reduzindo o tempo de permanência no viveiro e otimizando o processo de produção.

A comparação de emergência das plântulas, ou até germinação de sementes entre viveiros deve ser cuidadosa, devido a variabilidade de condições que estes ambientes podem ter entre si. Além disso, é importante salientar a influência do material genético e, até lote de coleta, das sementes experimentadas, dificultando a comparação com a literatura (Oliveira et al., 2018; Quisen & Degenhardt-Goldbach, 2020).

Entretanto, Silva & Cechin (2020) realizaram estudo utilizando manejo de irrigação semelhante, mas com composição de substrato diferente, obtendo taxa de germinação de 81% após 31 dias. Brasil (2009) sugere que a germinação após 21 dias é indicativo da inviabilidade da semente. Entretanto, é essencial um período maior para emergência das plântulas, especialmente em substratos com maior compactação.

Substratos compactados diminuem a percolação da água, o que pode influenciar na germinação das sementes. A embebição de água é um processo essencial para a germinação, pois estimula o

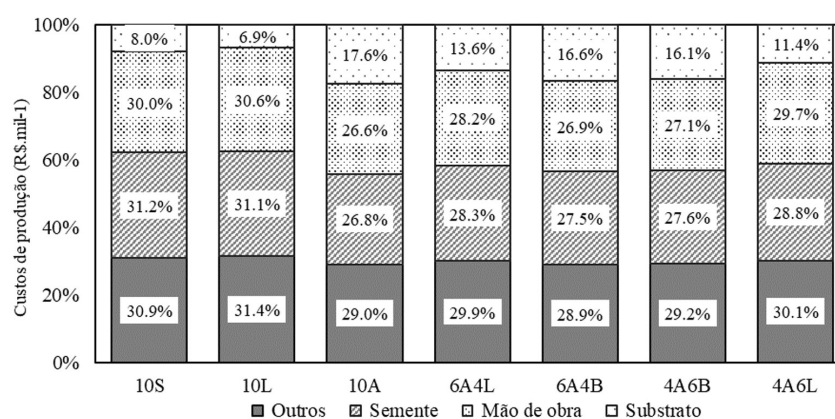


Figura 4 - Composição do custo de produção por milheiro (R\$.mil⁻¹) das mudas de *P. taeda* entre os diferentes substratos, através do custo da semente (preenchimento com faixas diagonais), mão de obra (preenchimento com pontilhados cheios), substrato (preenchimento com pontilhados vazios) e outros (preenchimento cheio) no custo final de produção. Legenda: **10S**: substrato 100% reaproveitado da seleção; **10L**: substrato 100% reaproveitado da lavagem; **10A**: substrato 100% Comercial A; **6A4L**: mistura de substrato entre 60% Comercial A e 40% reaproveitado da lavagem; **6A4B**: mistura de substrato entre 60% Comercial A e 40% Comercial B; **4A6B**: mistura de substrato entre 40% Comercial A e 60% Comercial B; **4A6L**: mistura de substrato entre 40% Comercial A e 60% reaproveitado da lavagem. **Outros**: Custos fixos (aluguel, depreciação, manutenção, mat. escritório) + Transporte dos funcionários e EPI's + Prestação de Serviços; **Semente**: Custo de aquisição das sementes; **Mão de obra**: Custo de mão de obra dos funcionários baseados no rendimento de cada operação; **Substrato**: Custo de aquisição do substrato. Fonte: Autor (2024).

Tabela 3 - Caracterização morfológica das mudas de *P. taeda* entre os diferentes substratos.

Tratamentos	H (cm)		DC (mm)		H/D		MSA (g)		MSR (g)	
10S	36,0	abc	3,6	ns	10,08	ns	2,18	ns	0,97	b
10L	36,9	abc	3,5	ns	10,50	ns	2,16	ns	1,02	ab
10A	33,7	bc	3,6	ns	9,46	ns	2,74	ns	1,40	a
6A4L	37,0	abc	3,8	ns	9,91	ns	2,61	ns	1,15	ab
6A4B	34,4	abc	3,6	ns	9,70	ns	2,40	ns	1,20	ab
4A6B	33,3	c	3,5	ns	9,53	ns	2,42	ns	1,18	ab
4A6L	36,6	abc	3,7	ns	10,03	ns	2,49	ns	0,98	b

Legenda: **H**: altura da parte aérea; **DC**: diâmetro de colo; **H/D**: relação entre altura da parte aérea e diâmetro de colo; **MSA**: massa seca parte aérea; **MSR**: massa seca da parte radicular; **10S**: substrato 100% reaproveitado da seleção; **10L**: substrato 100% reaproveitado da lavagem; **10A**: substrato 100% Comercial A; **6A4L**: mistura de substrato entre 60% Comercial A e 40% reaproveitado da lavagem; **6A4B**: mistura de substrato entre 60% Comercial A e 40% Comercial B; **4A6B**: mistura de substrato entre 40% Comercial A e 60% reaproveitado da lavagem. Médias seguidas de diferentes letras demonstram que os tratamentos diferem estatisticamente (teste Tukey >0,05). Fonte: Autor.

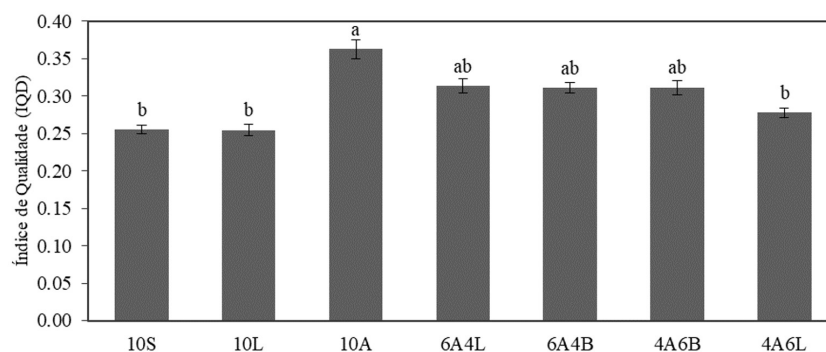


Figura 5 – Índice de Qualidade de Dickson (IQD) das mudas de *P. taeda* em diferentes substratos. Legenda: **10S**: substrato 100% reaproveitado da seleção; **10L**: substrato 100% reaproveitado da lavação; **10A**: substrato 100% Comercial A; **6A4L**: mistura de substrato entre 60% Comercial A e 40% reaproveitado da lavação; **6A4B**: mistura de substrato entre 60% Comercial A e 40% Comercial B; **4A6B**: mistura de substrato entre 40% Comercial A e 60% Comercial B; **4A6L**: mistura de substrato entre 40% Comercial A e 60% reaproveitado da lavação. Diferentes letras acima dos gráficos demonstram que os tratamentos diferem estatisticamente (teste Tukey >0,05). Fonte: Autor.

metabolismo da semente e inicia o processo bioquímico de indução de crescimento do embrião (Marcos Filho, 2022). Nesse contexto, foi possível observar a influência positiva da retenção de água sobre a taxa e velocidade de germinação das sementes, e consequentemente, na emissão do hipocótilo para fora do substrato, descrito como emergência de plântulas.

Considerando os tratamentos avaliados, 10A também apresentou maior capacidade de retenção de água (0,82 g/g), possivelmente associada a presença de turfa e vermiculita na composição. Este tratamento resultou em maior germinação (84% aos 100 dias) e velocidade de emergência (79% já aos 30 dias) das plântulas. Enquanto o tratamento 10S apresentou menor capacidade de retenção de água (0,43 g/g), possivelmente associada a decomposição de componentes orgânicos, que corroboram na retenção e menor aeração do substrato, resultando na baixa emergência das plântulas (74,7% após 100 dias de semente). O uso de substrato reaproveitado também pode influenciar na presença e crescimento de plantas daninhas nos tubetes.

Estudos mostram a importância da quantidade de água ideal para germinação de sementes e velocidade de emergência das plântulas, assim como a combinação com temperatura (Araújo et al., 2014; Guedes et al., 2010). O excesso de água também pode reduzir a germinação devido a deficiência em oxigênio (Araújo et al., 2014; Guedes et al., 2010). O manejo da água utilizado pela equipe do viveiro deve considerar a relação entre retenção de água pelo substrato e a taxa de emergência das plântulas, visando também o uso consciente da água.

Outra prática recorrente em viveiros florestais é a reutilização de substratos, visando o reaproveitamento do material. Entretanto, o uso de substrato reutilizado pode contribuir no surgimento de plantas daninhas nos tubetes, ao passo que, essas plantas competirão com as plântulas de *P. taeda*. O tratamento 4A6L apresentou a maior frequência de matocompetição nos tubetes aos 100 dias após o semente (8,4%). Esse resultado pode estar relacionado a mescla do substrato reaproveitado com o Comercial A, que serviu como fonte de matéria orgânica e aeração ao substrato, ativando o banco de sementes de plantas daninhas do substrato reaproveitado e fornecendo melhores condições para o desenvolvimento destas plantas.

O tratamento 10A apresentou a menor frequência de matocompetição entre os substratos, com 0,7% aos 65 dias e 1,6% aos 100 dias. Por ser substrato comercial, a baixa frequência de plantas daninhas era esperada.

Estudos apontam para a influência negativa da competição com plantas daninhas em povoamentos jovens, principalmente ao fator crescimento e produtividade (Pellens et al., 2018), influência também esperada com mudas dentro de viveiro (Cuesta et al., 2010; Jackson et al., 2012). Importante considerar que o experimento foi realizado durante

outono-inverno, o que pode ter influenciado na baixa frequência de matocompetição em alguns tratamentos.

Ainda, a frequência de plantas daninhas no tubete exigirá manejo das mudas, que influenciará no rendimento operacional do processo de seleção das mudas, isso devido ao maior tempo de manuseio necessário para realizar a limpeza das mudas no tubete. A diminuição do rendimento operacional irá aumentar o custo de produção das mudas, por exigir maior tempo de produção e o aumento de mão de obra.

O maior rendimento operacional foi observado no tratamento 10A, atingindo 13.699 mudas/homem.dia, enquanto o menor rendimento operacional foi registrado no substrato 4A6L (8.922 mudas/homem.dia). O uso de substrato reaproveitado diminuiu em 53,5% no rendimento operacional de seleção/ raleio das mudas, devido ao aumento de plantas daninhas. Essa diminuição no rendimento aumentará o período das mudas no viveiro e exigirá o aumento de mão de obra, que resultará no maior custo da produção.

O tratamento 10A apresentou o menor custo de mão de obra, devido ao maior rendimento operacional, e aquisição de sementes, devido a maior taxa de emergência das plântulas, porém o custo é maior com a aquisição do substrato comercial. Entretanto, tratamentos como 10S e 10L apresentaram os menores custos com substrato, devido serem substratos reaproveitados. Porém, a menor taxa de emergência das plântulas, apresentou maiores custos com a aquisição de mais sementes, e mais mão de obra para produzir a mesma quantidade final de mudas.

Importante destacar-se que, na região de experimentação, não há escassez de mão de obra nem de substrato, o que permite a avaliação deste custo em escala operacional, o que pode inviabilizar a replicação em outras regiões.

Santana (2017) avaliou o custo de produção de um viveiro de pinus no Paraná, e identificou que os custos relativos à mão de obra podem compor até 78,7% dos custos totais, concentrados principalmente nas atividades de semeadura, 41,7%, e seleção de mudas, 20,9%, respectivamente, a depender do tipo de substrato utilizado (Santana, 2017).

No estudo, observou-se custo por milheiro (R\$.mil⁻¹) de 267,92 para produção via seminal, em 2016. A correção monetária para 2021, com inflação acumulada de 28,95%, corresponderia a R\$345,48 por milheiro. O valor é similar ao encontrado no presente experimento (Banco Central do Brasil, 2022; Santana, 2017).

Além dos custos de produção do viveiro, a qualidade das mudas é uma avaliação importante, pois há um padrão mínimo a ser enviado ao campo. Para tal, a análise de qualidade das mudas não observou diferença estatística nas avaliações de diâmetro de colo e de peso

de massa seca da parte aérea entre os tratamentos. Houve diferença estatística nas avaliações de altura da parte aérea e massa seca da parte radicular.

Entretanto, para fins de estimativa de qualidade das mudas, considerando a relação entre altura da parte aérea e o diâmetro de colo, não houve diferença estatística. A principal variação na qualidade das mudas ocorreu em massa seca da parte radicular, que está diretamente relacionada ao desenvolvimento radicular das mudas. Tal variação na qualidade do sistema radicular influenciará na taxa de sobrevivência do plantio, no maior crescimento inicial das plântulas e na maior resistência aos estresses ambientais (Cruz et al., 2004; Lopes, 2005).

Baseando-se no valor mínimo de 0,2 como padrão para qualidade das mudas, proposta por Dickson et al. (1960), pode-se afirmar que as mudas de *P. taeda* encontram-se com qualidade satisfatória. Estudos com avaliação de mudas de *P. taeda* obtiveram valores de índice de 0,2 (Thomas, 2007), 0,26 (Brunetta et al., 2010) e 0,34 (Santos et al., 2018) após os 180 dias, indicando que esse é um período mínimo para atingir os padrões ideais para mudas de *P. taeda*.

Com base nos resultados obtidos, identifica-se que a composição do substrato exerce influência direta na taxa de germinação, velocidade de emergência das plântulas e eficiência operacional no viveiro. A reutilização de substrato, embora reduza os custos iniciais, compromete o rendimento operacional devido ao aumento de plantas daninhas nos tubetes, elevando os custos com mão de obra. Embora a qualidade das mudas foi satisfatória entre todos os tratamentos, houve diferença na massa seca radicular. Assim, a escolha do substrato deve considerar um equilíbrio entre custos operacionais, tempo de produção e qualidade das mudas, garantindo a viabilidade técnica e econômica da produção.

5. CONCLUSÕES

O tratamento 10A é o mais indicado, por apresentar maior germinação das sementes, velocidade de emergência das plântulas, qualidade das mudas e eficiência operacional no viveiro. O substrato Comercial B, considerando diferentes combinações, não apresentou resultado satisfatório que justifique seu uso na produção de *Pinus taeda*. Os substratos reaproveitados, embora reduzam os custos iniciais, aumentam os custos operacionais devido a interferência de plantas daninhas, além de diminuir a qualidade das mudas.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecimento ao programa de Residência Profissional Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco e a empresa a ArborGen Inc.®, por disponibilização do espaço e materiais para o experimento, e a Fundação Apolônio Salles de Desenvolvimento Educacional (FADURPE) pela concessão de bolsa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., de Moraes Gonçalves, J. L., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711-728. <http://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- Araújo, P. C., Alves, E. U., Ursulino, M. M., Araújo, L. R., & Silva, R. S. (2014). Different water volumes in the substrate and temperatures for germination of cabacinha seeds. *Horticultura Brasileira*, 32(3), 367-370. <http://doi.org/10.1590/S0102-05362014000300021>.
- Banco Central do Brasil – BCB. (2022). *Calculadora do cidadão: correção de valores (IPC - Brasil (FGV) - a partir de 01/1990)*. São Paulo.
- Recuperado em 20 de janeiro de 2022, de <https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADO/publico/corrigirPorIndice.do?method=corrigirPorIndice>
- Brasil. (2009). *Regras para análise de sementes*. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.
- Brunetta, J. M. F. C., Alfenas, A. C., Mafia, R. G., Gomes, J. M., Binoti, D. B., & Fonseca, N. A. N. (2010). Isolamento e seleção de rizobactérias promotoras do crescimento de *Pinus taeda*. *Revista Árvore*, 34(3), 399-406. <http://doi.org/10.1590/S0100-67622010000300003>.
- Cruz, C. A. F., Paiva, H. N., Gomes, K. C. O., & Guerrero, C. R. A. (2004). Efeito de diferentes níveis de saturação por bases no desenvolvimento e qualidade de mudas de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* Mart. Standley). *Scientia Forestalis*, 66(1), 100-107.
- Cuesta, B., Villar-Salvador, P., Puértolas, J., Jacobs, D. F., & Rey Benayas, J. M. (2010). Why do large, nitrogen-rich seedlings better resist stressful transplanting conditions? A physiological analysis in two functionally contrasting Mediterranean forest species. *Forest Ecology and Management*, 260(1), 71-78. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.04.002>.
- Del Campo, A. D., Navarro, R. M., & Ceacero, C. J. (2010). Seedling quality and field performance of commercial stocklots of containerized holm oak (*Quercus ilex*) in Mediterranean Spain: an approach for establishing a quality standard. *New Forests*, 39(1), 19-37. <http://doi.org/10.1007/s11056-009-9152-9>.
- Dickson, A., Leaf, A. L., & Hosner, J. F. (1960). Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forestry Chronicle*, 36(1), 10-13. <http://doi.org/10.5558/tfc36010-1>.
- Dobner Junior, M., & Campoe, O. C. (2019). Meteorological effects on 30-years-grown *Pinus taeda* under a gradient of crown thinning intensities in southern Brazil. *Forest Ecology and Management*, 453(1), 117624-117632. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117624>.
- Dranski, J. A. L., Malavasi, U. C., & Malavasi, M. M. (2015). Relationship between lignin content and quality of *Pinus taeda* seedlings. *Revista Árvore*, 39(5), 905-913. <http://doi.org/10.1590/0100-67622015000500013>.
- Fermino, M. H., & Kämpf, A. N. (2012). Densidade de substratos dependendo dos métodos de análise e níveis de umidade. *Horticultura Brasileira*, 30(1), 75-79. <http://doi.org/10.1590/S0102-05362012000100013>.
- Fernandes, C., Corá, J. E., & Braz, L. T. (2006). Alterações nas propriedades físicas de substratos para cultivo de tomate cereja, em função de sua reutilização. *Horticultura Brasileira*, 24(1), 94-98. <http://doi.org/10.1590/S0102-05362006000100019>.
- Fritzsos, E., Grabias, J., Mantovani, L. E., Rossi, M., & Freitas, M. L. M. (2011). Proposta de zoneamento climático das unidades experimentais no estado de São Paulo. In *Anais do X Congresso de Ecologia do Brasil*, São Lourenço, MG.
- Guedes, R. S., Alves, E. U., Gonçalves, E. P., Viana, J. S., França, P. R. C., & Lima, C. R. (2010). Umedecimento do substrato e temperatura na germinação e vigor de sementes de *Amburana cearensis* (All.) A.C. Smith. *Revista Brasileira de Sementes*, 32(3), 116-122. <http://doi.org/10.1590/S0101-31222010000300013>.
- Indústria Brasileira de Árvores – IBÁ. (2021). *Relatório anual IBÁ 2021*. São Paulo.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2021). *Produção da extração vegetal e da silvicultura, 2020*. Rio de Janeiro. Recuperado em 10 de janeiro de 2023, de <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2101370>
- Jackson, D. P., Dumroese, R. K., & Barnett, J. P. (2012). Nursery response of container *Pinus palustris* seedlings to nitrogen supply and subsequent effects on outplanting performance. *Forest Ecology and Management*, 265, 1-12. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.10.018>.

- Lopes, E. D. (2005). *Qualidade de mudas de Eucalyptus urophylla, E. camaldulensis e E. citriodora produzidas em blocos prensados e em dois modelos de tubetes e seu desempenho no campo* (Dissertação de mestrado). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista.
- Marcos Filho, J. (2022). *Germinação de sementes*. Piracicaba: Departamento de Produção Vegetal, USP. Recuperado em 20 de janeiro de 2022, de <http://www.lpv.esalq.usp.br/sites/default/files/Germina%C3%A7%C3%A3o%20PG%202018%20pdf.pdf>
- Oliveira, K. F., Nogueira, A. N., & Higa, A. R. (2018). Produtividade de cones e sementes em um pomar clonal de *Pinus taeda* Linnaeus. *Advances in Forestry Science*, 5(2), 293-298.
- Pellens, G. C., Lessa, P. R., Schorn, L. A., & Fenilli, T. A. B. (2018). Influência da matocompetição em povoamentos jovens de *Pinus taeda* L. *Ciência Florestal*, 28(2), 495-504. <http://doi.org/10.5902/1980509832030>.
- Pozza, A. A. A., Guimarães, P. T. G., Pozza, E. A., Carvalho, J. G., Montanari, M., & Souza, R. F. (2007). Efeito do tipo de substrato e da presença de adubação suplementar sobre o crescimento vegetativo, nutrição mineral, custo de produção e intensidade de cercosporiose em mudas de cafeeiro formadas em tubetes. *Ciência e Agrotecnologia*, 31(3), 685-692. <http://doi.org/10.1590/S1413-70542007000300013>.
- Quisen, R. C., & Degenhardt-Goldbach, J. (2020). *Metodologia de descontaminação e germinação de sementes de Pinus taeda L.* Colombo: Embrapa Florestas. Recuperado em 20 de janeiro de 2022, de <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/214691/1/CT-449-1780-final2.pdf>
- R Development Core Team. (2014). *R: a language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing.
- Santana, L. F. (2017). *Elaboração de um modelo de custeio baseado em atividades (ABC) em viveiro florestal: um estudo de caso* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Santos, R. F., Cruz, S. P., Botelho, G. R., & Flores, A. V. (2018). Inoculation of *Pinus taeda* seedlings with plant growth-promoting rhizobacteria. *Floresta e Ambiente*, 25(1), 1-7. <http://doi.org/10.1590/2179-8087.005616>.
- Shank, J. K., & Govindarajan, V. (1997). *A revolução dos custos: como reinventar e redefinir sua estratégia de custos para vencer em mercados crescentemente competitivos* (4. ed., 341 p.). Rio de Janeiro: Campus.
- Silva, A. P. J., Machado, C., & Cunha, L. C. (2015). Custo de produção de mudas em viveiro: um estudo de caso na Associação de Preservação do Meio Ambiente e da Vida - Apremavi. In *Anais do XXII Congresso Brasileiro de Custos*, Foz do Iguaçu, PR.
- Silva, C., & Cechin, N. F. (2020). Manejo da irrigação na produção de mudas de *Pinus taeda* L. em viveiro florestal. *Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão*, 11(2), 1.
- Simões, D., Silva, R. B. G., & Silva, M. R. (2012). Composição do substrato sobre o desenvolvimento, qualidade e custo de produção de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden × *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. *Ciência Florestal*, 22(1), 91-100. <http://doi.org/10.5902/198050985082>.
- Thomas, R. (2007). *Crescimento e nutrição de mudas de Pinus taeda L. no estado do Rio Grande do Sul* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

GNR: concepção e desenho do estudo; revisão da literatura; aquisição, análise e interpretação dos dados; desenvolvimento da metodologia, elaboração do manuscrito; LM: concepção e desenho do estudo e desenvolvimento da metodologia; AMG: concepção e desenho do estudo; AVF: desenvolvimento da metodologia; REH: concepção e desenho do estudo e desenvolvimento da metodologia.