



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**  
**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: FITOTECNIA**

**PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Pinus maximinoi***  
**EM RECIPIENTES BIODEGRADÁVEIS: ANÁLISES DE**  
**DIFERENTES VOLUMES, IDADES DE EXPEDIÇÃO E**  
**DESENVOLVIMENTO NO CAMPO**

**ARIANE MIRANDA DE OLIVEIRA**

**VITÓRIA DA CONQUISTA**  
**BAHIA – BRASIL**  
**2023**

**ARIANE MIRANDA DE OLIVEIRA**

**PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Pinus maximinoi* EM RECIPIENTES  
BIODEGRADÁVEIS: ANÁLISES DE DIFERENTES VOLUMES, IDADES DE  
EXPEDIÇÃO E DESENVOLVIMENTO NO CAMPO**

Tese apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia, para a obtenção de título de Doutor.

Orientador: Adalberto Brito de Novaes

VITÓRIA DA CONQUISTA  
BAHIA – BRASIL  
2023

O45p Oliveira, Ariane Miranda de.

Produção de mudas de *Pinus maximinoi* em recipientes biodegradáveis: análises de diferentes volumes, idades de expedição e desenvolvimento no campo. / Ariane Miranda de Oliveira, 2023.

92f.

Orientador (a): Dr. Adalberto Brito de Novaes.

Tese (doutorado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Área de concentração Fitotecnia, Vitória da Conquista, 2023.

Inclui referência F. 71 – 80.

1. *Pinus tropical*. 2. Paperpot. 3. Mudas seminais. 4. Mudas clonais. I. Novaes, Adalberto Brito de. II. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia Área de concentração Fitotecnia. III.T.

*Catologação na fonte: Juliana Teixeira de Assunção – CRB 5/1890*

UESB – Campus Vitória da Conquista – BA



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
Área de Concentração em Fitotecnia**

**Campus de Vitória da Conquista, BA**

**DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO: “PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Pinus maximinoi* EM RECIPIENTES BIODEGRADÁVEIS: ANÁLISES DE DIFERENTES VOLUMES, IDADES DE EXPEDIÇÃO E DESENVOLVIMENTO NO CAMPO”.**

**AUTOR (A): Ariane Miranda de Oliveira**

**Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTORA EM AGRONOMIA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM FITOTECNIA, pela seguinte Banca Examinadora:**

\_\_\_\_\_  
Dr. Adalberto Brito de Novaes, D.Sc., (UESB)

\_\_\_\_\_  
Dr. Nilton José Sousa, D.Sc., (UFPR)

\_\_\_\_\_  
Dr. José Geraldo Mageste da Silva, D.Sc., (UFU)

\_\_\_\_\_  
Dr. Alcebíades Rebouças São José, D.Sc., (UESB)

\_\_\_\_\_  
Dr. Luís Carlos de Freitas, UESB, D.Sc., (UESB)

Data de realização: 30 de Janeiro de 2023.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e aos espíritos de luz, por me mostrarem o caminho a ser seguido, as soluções para as dificuldades que surgiram e por colocarem pessoas maravilhosas para me ajudar nessa caminhada.

Agradeço a minha imensa família que já existia antes do Doutorado: minhas mães Maria Helena e Vanyr; meus pais Ary e Pedro; meus irmãos Gustavo, Laila e Rômulo; minha sogra Rita; minhas tias Laurete, Vera, Didi, Doda e Cida; e primas Andrea e Ângela, que com suas orações, carinho e atenção me estimularam e me fizeram acreditar que daria certo!

Agradeço, com o coração cheio de amor, à família que me foi dada durante o doutorado: meu marido e meus dois filhos. Meu bem, você foi meu suporte, minha inspiração, meu equilíbrio, minha perseverança, meu conforto e minhas mãos neste trabalho! Eu amo você gigantesmente! Também agradeço aos meus filhotes amados Henrique e Mirela que me ensinaram que os maiores imprevistos do mundo podem ser superados com amor e dedicação. A mamãe ama vocês!

Agradeço ao meu orientador Adalberto, por ter depositado em mim a confiança de fazer um trabalho dessa magnitude. Mas agradeço, ainda mais, por ter me apoiado e me confortado no momento mais difícil da minha vida. E esse agradecimento se estende também à sua esposa, Roseli, por todo carinho passado a mim. Também agradeço à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, que através de seus docentes enriqueceram meus conhecimentos. Agradeço, em especial, às professoras Patrícia A. B. Barreto-Garcia, por sempre me acolher e me orientar nos momentos de fragilidade; e Maria Aparecida Castelanni, por cuidar com carinho de diversas questões relacionadas a este trabalho. Também não posso deixar de ser grata à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por possibilitar a execução desta pesquisa com auxílio financeiro.

Em um parágrafo especial, agradeço à empresa de papel e celulose Klabin S/A, que por meio de seus colaboradores e infraestrutura contribuíram com este trabalho ideologicamente, estruturalmente, tecnicamente e financeiramente. Obrigada, Letícia

Miranda, Everton Zanlorenzi e Fabrício Biernaski, por confiarem na proposta e tornarem possível esse convênio. Obrigada às equipes de viveiro, liderada primeiramente pelo Eleabe e, posteriormente, pela Gisele; e de campo, sob a liderança de Claudinei Rogenski, que abraçaram a pesquisa, sendo, muitas vezes, meus olhos e minhas mãos enquanto eu não podia estar presente. Sem vocês, eu não conseguiria fazer tudo sozinha.

Minha família de coração é imensa e sou muito grata a ela por me dar tanto carinho e companhia. São pessoas que estão comigo desde a Graduação: Camila, Elisângela, Silvanete e Izabela; do Mestrado: Ina, Milena, Paulo e Priscila; e meus colegas de laboratório: Ana, Thalita e Vinícius. Fora do mundo acadêmico, mas nem tão fora assim, agradeço o carinho da família almenarense, sobretudo, Mariana e Uendel; Jecilene e Denis; João e Mariza, e Daiane e Alan, pelos momentos de leveza, aprendizado e companheirismo. João, muito obrigada mais uma vez, pelo auxílio com a parte técnica do trabalho, desde a qualificação. Serei eternamente grata!

E tem ele, “O Quarteto”. Até hoje não sei como o Quarteto consegue ser tão mágico! Obrigada Flávia, Maida e Walleska, por juntas compartilharmos nossos sonhos, desafios, tristezas, inseguranças e conhecimentos e, assim, tornar mais fácil nossa caminhada no curso. Nossa harmonia é tão grande que, exceto por Maida, até casamos e tivemos nossos filhos nesse período. Mas não fique triste Maida, afinal, uma de nós tinha que ter juízo!

Enfim, foram quatro anos e meio de aprendizado e desafios, e por causa das mais variadas formas de carinho e colaboração recebidas das pessoas que passaram na minha vida nesse período está sendo possível concluir este curso. Por isso, com muito amor, obrigada a todos!

## RESUMO

OLIVEIRA, A. M. **Produção de mudas de *Pinus maximinoi* em recipientes biodegradáveis: análises de diferentes volumes, idades de expedição e desenvolvimento no campo.** Vitória da Conquista – BA, UESB, 2023. 89 p. (Tese: Doutorado em Agronomia; Área de Concentração: Fitotecnia)\*.

Um dos requisitos para se formar povoamentos florestais produtivos é a produção de mudas de qualidade. Assim, atualizar os métodos e tecnologias de produção de mudas é uma necessidade, sendo o uso de recipientes biodegradáveis uma das alternativas mais promissoras, bem como a associação destes com diferentes tempos de expedição para o campo. Dessa forma, objetivou-se com esta pesquisa avaliar a qualidade morfofisiológica de mudas clonais e seminais de *Pinus maximinoi*, produzidas em dois volumes de recipientes biodegradáveis, associados a quatro idades de expedição e ao seu crescimento no campo. Foram realizados dois experimentos, um com mudas clonais e outro com mudas seminais, nas fases de viveiro e campo. Em viveiro, utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado e o esquema de parcelas subdivididas no tempo, alocando-se, nas parcelas, os volumes de paperpot (56 e 77 cm<sup>3</sup>) e, nas subparcelas, as idades de expedição para o campo (5, 7, 9 e 11 meses). Adotou-se, portanto, oito tratamentos em cada experimento: T1: 56 cm<sup>3</sup> + 5 meses, T2: 56 cm<sup>3</sup> + 7 meses, T3: 56 cm<sup>3</sup> + 9 meses, T4: 56 cm<sup>3</sup> + 11 meses, T5: 77 cm<sup>3</sup> + 5 meses, T6: 77 cm<sup>3</sup> + 7 meses, T7: 77 cm<sup>3</sup> + 9 meses e T8: 77 cm<sup>3</sup> + 11 meses, com 4 repetições. Avaliou-se variáveis morfológicas e de qualidade do sistema radicial e determinou-se o potencial de crescimento de raízes (PCR), quando foram avaliados número total, comprimento médio, distribuição horizontal e vertical de raízes regeneradas. No campo, adotou-se o delineamento experimental, em blocos casualizados, e o esquema de parcelas subdivididas com oito tratamentos e 4 repetições. Aos 16 meses após o plantio, avaliou-se a sobrevivência, o desempenho das plantas e a qualidade do sistema radicial. Os recipientes biodegradáveis do tipo paperpot, com 77 cm<sup>3</sup> de capacidade volumétrica, possibilitaram a produção de mudas de *Pinus maximinoi* com qualidades desejáveis, obtendo o melhor desempenho no campo, após o plantio. Mudas de *Pinus maximinoi*, expedidas aos 9 e 11 meses de idade, apresentaram as maiores médias de viveiro e desempenho no campo. O potencial de crescimento de raízes, conjugado com outros parâmetros morfológicos de viveiro, avaliados no presente estudo, prognosticou com maior eficiência o desempenho inicial de plantas seminais, 16 meses após o plantio. As deformações radiciais, do tipo dobra e estrangulamento, persistiram até os 16 meses no campo.

**Palavras-chave:** Pinus tropical; Paperpot; Mudas seminais; Mudas clonais.

---

\*Orientador: Dr. Adalberto Brito de Novaes – UESB.

## ABSTRACT

OLIVEIRA, A. M. **Production of *Pinus maximinoi* seedlings in biodegradable containers: analyzes of different volumes, shipping ages and development in the field.** Vitória da Conquista – BA, UESB, 2023. 89 p. (Thesis: Doctor Science in Agronomy; Area of Concentration: Crop Science)\*.

One of the requirements for forming productive forest stands is the production of quality seedlings. Thus, updating seedling production methods and technologies is a necessity, with the use of biodegradable containers being one of the most promising alternatives, as well as their association with different shipping times to the field. Thus, the objective of this research was to evaluate the morphophysiological quality of clonal and seminal seedlings of *Pinus maximinoi* produced in two volumes of biodegradable containers, associated with four shipping ages and their growth in the field. Two experiments were carried out, one with clonal seedlings and the other with seminal seedlings, in the nursery and field phases. In the nursery, a completely randomized design and a split-plot scheme were used, allocating the paperpot volumes (56 and 77 cm<sup>3</sup>) to the plots and the ages of expedition to the field (5, 7, 9 and 11 months). Therefore, eight treatments were adopted in each experiment: T1: 56 cm<sup>3</sup> + 5 months, T2: 56 cm<sup>3</sup> + 7 months, T3: 56 cm<sup>3</sup> + 9 months, T4: 56 cm<sup>3</sup> + 11 months, T5: 77 cm<sup>3</sup> + 5 months, T6: 77 cm<sup>3</sup> + 7 months, T7: 77 cm<sup>3</sup> + 9 months and T8: 77 cm<sup>3</sup> + 11 months, with 4 repetitions. Morphological and quality of the root system variables were evaluated and the root growth potential (RGP) was determined, where the total number, average length, horizontal and vertical distribution of regenerated roots were evaluated. In the field, the experimental design was randomized blocks and a split-plot design with eight treatments and four replications. At 16 months after planting, survival, plant performance and root system quality were evaluated. The biodegradable paperpot-type containers with a volumetric capacity of 77 cm<sup>3</sup> enabled the production of *Pinus maximinoi* seedlings with desirable qualities, obtaining the best performance in the field, after planting. *Pinus maximinoi* seedlings shipped at 9 and 11 months of age showed the highest averages for nursery and field performance. Root growth potential, combined with other nursery morphological parameters evaluated in the present study, more efficiently predicted the initial performance of seminal plants, 16 months after planting. Fold and strangulation-type root deformations persisted up to 16 months in the field.

**Keywords:** Tropical pine; Paperpot; seminal seedlings; clonal seedlings

---

\*Advisor: Dr. Adalberto Brito de Novaes – UESB.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Temperaturas e umidades relativas do ar médias mensais e precipitação acumulada no período de produção das mudas (20 de novembro de 2019 a 20 de outubro de 2020) .....	16
Figura 2 - Temperaturas e umidades relativas do ar médias mensais e precipitação acumulada no período de novembro de 2020 a março de 2022, época do desenvolvimento inicial das plantas no campo. ....	17
Figura 3 - Aspectos dos recipientes biodegradáveis, paperpots de 77 e 56 cm <sup>3</sup> (A) e da bandeja (B) utilizados para a produção de mudas de <i>Pinus maximinoi</i> . ....	20
Figura 4 - Operações de estaqueamento (A) e semeadura (B) de <i>Pinus maximinoi</i> . ....	21
Figura 5 - Aspectos de deformações radiciais encontradas em mudas de <i>Pinus maximinoi</i> . ....	22
Figura 6 - Aspectos da mensuração das variáveis altura da parte aérea e do volume do sistema radicial de mudas de <i>Pinus maximinoi</i> . ....	23
Figura 7 - Determinação do Potencial de Crescimento de Raízes (PCR) de mudas de <i>Pinus maximinoi</i> em caixas. ....	24
Figura 8 - Determinação do Potencial de Crescimento de Raízes (PCR) de <i>Pinus maximinoi</i> em tubos. ....	25
Figura 9 - Mensuração do diâmetro de copa (A) e marcação do sentido norte (B) em plantas de <i>Pinus maximinoi</i> , 16 meses após o plantio. ....	27
Figura 10 - Distribuição de raízes laterais em quadrantes de plantas de <i>Pinus maximinoi</i> , 16 meses após o plantio. ....	28
Figura 11 - Correlações de Pearson entre potencial de crescimento de raiz e variáveis morfológicas e de qualidade de raiz de mudas clonais de <i>Pinus maximinoi</i> aos 16 meses após o plantio. * Significativo pelo teste t (p <0,05). r: coeficiente de correlação de Pearson; NTRR: número total de raízes regeneradas; DCC: diâmetro de coleto em campo; CMRP: comprimento médio da raiz principal; CMRR: comprimento médio de raízes regeneradas; DC: diâmetro de copa; APHC: área de projeção horizontal da copa .....	48
Figura 12 - Correlações de Pearson entre potencial de crescimento de raiz e variáveis morfológicas; e de qualidade de raiz de mudas seminais de <i>Pinus maximinoi</i> aos 16 meses após o plantio. *Significativo pelo teste t (p <0,05). r: coeficiente de correlação de Pearson; NTRR: número total de raízes regeneradas; DCC: diâmetro de coleto em campo; CMRR: comprimento médio de raiz regenerada; DC: diâmetro de copa; APHC: área de projeção horizontal da copa; PSR: profundidade do sistema radicial; NRLC: número de raízes laterais em campo; CMRP: comprimento médio da raiz principal; CMRR: comprimento médio de raízes regeneradas; APHR: área de projeção horizontal das raízes .....	50

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Atributos químicos e físicos do solo sob plantas de <i>Pinus maximinoi</i> nas camadas 0-20 cm e 20-40 cm de profundidade. ....	26
Tabela 2 - Médias das variáveis morfológicas e de qualidade de raiz de mudas clonais de <i>Pinus maximinoi</i> com interações, produzidas em paperpots de 56 e 77 cm <sup>3</sup> aos 5, 7, 9 e 11 meses após o estaqueamento. ....	31
Tabela 3 - Médias de variáveis morfológicas e do número de raízes laterais de mudas clonais de <i>Pinus maximinoi</i> com efeitos isolados, produzidas em paperpots de 56 e 77 cm <sup>3</sup> e expedidas para o campo aos 5, 7, 9 e 11 meses após o estaqueamento.....	32
Tabela 4 - Médias das variáveis morfológicas de mudas seminais de <i>Pinus maximinoi</i> com interação, produzidas em paperpots de 56 e 77 cm <sup>3</sup> aos 5, 7, 9 e 11 meses após a semeadura. ....	34
Tabela 5 - Médias das variáveis de qualidade de raiz de mudas seminais de <i>Pinus maximinoi</i> com efeitos isolados, produzidas em paperpots de 56 e 77 cm <sup>3</sup> aos 5, 7, 9 e 11 meses após a semeadura .....	35
Tabela 6 - Médias de relações morfológicas e deformações radiciais de mudas seminais de <i>Pinus maximinoi</i> com interações, produzidas em paperpots de 56 e 77 cm <sup>3</sup> aos 5, 7, 9 e 11 meses após a semeadura .....	37
Tabela 7 - Médias do Potencial de Crescimento de Raízes de mudas clonais de <i>Pinus maximinoi</i> , 43 dias após o transplântio em tubos e 44 dias após o transplântio em caixas .....	39
Tabela 8 - Médias do Potencial de Crescimento de Raízes de mudas seminais de <i>Pinus maximinoi</i> , 43 dias após o transplântio em tubos e 44 dias após o transplântio em caixas .....	40
Tabela 9 - Sobrevivência de plantas clonais e seminais de <i>Pinus maximinoi</i> 16 meses após o plantio, produzidas em paperpot de 56 e 77 cm <sup>3</sup> e expedidas ao campo aos 5, 7, 9 e 11 meses de idade .....	42
Tabela 10 - Médias de crescimento da parte aérea e de qualidade de raiz de mudas clonais de <i>Pinus maximinoi</i> com efeitos isolados, produzidas em paperpots de 56 e 77 cm <sup>3</sup> , expedidas para o campo aos 5, 7, 9 e 11 meses e avaliadas aos 16 meses após o plantio .....	44
Tabela 11 - Médias de crescimento da parte aérea e de qualidade de raiz de mudas clonais de <i>Pinus maximinoi</i> com interações, produzidas em paperpots de 56 e 77 cm <sup>3</sup> , expedidas para o campo aos 5, 7, 9 e 11 meses e avaliadas aos 16 meses após o plantio.....	46
Tabela 12 - Médias da distribuição horizontal de raízes laterais de mudas clonais de <i>Pinus maximinoi</i> produzidas em paperpots de 56 e 77 cm <sup>3</sup> , expedidas para o campo aos 5, 7, 9 e 11 meses e avaliadas aos 16 meses após o plantio .....	46
Tabela 13 - Coeficientes de Correlação de Pearson entre variáveis morfológicas e de qualidade de raiz em viveiro e crescimento da parte aérea e qualidade de raiz no campo de mudas clonais de <i>Pinus maximinoi</i> .....	47
Tabela 14 - Médias de crescimento da parte aérea e de qualidade de raiz de mudas seminais de <i>Pinus maximinoi</i> com interações, produzidas em paperpots de 56 e 77 cm <sup>3</sup> , expedidas para o campo aos 5, 7, 9 e 11 meses e avaliadas aos 16 meses após o plantio .....	49

Tabela 15 - Médias das variáveis de crescimento da parte aérea e de qualidade de raiz de mudas seminais de <i>Pinus maximinoi</i> com efeitos isolados, produzidas em paperpots de 56 e 77 cm <sup>3</sup> , expedidas para o campo aos 5, 7, 9 e 11 meses e avaliadas aos 16 meses após o plantio .....	52
Tabela 16 - Médias do número de raízes laterais por quadrante de mudas seminais de <i>Pinus maximinoi</i> produzidas em paperpots de 56 e 77 cm <sup>3</sup> , expedidas para o campo aos 5, 7, 9 e 11 meses e avaliadas aos 16 meses após o plantio .....	53
Tabela 17 - Coeficientes de Correlação de Pearson entre variáveis morfológicas, de qualidade de raiz em viveiro e crescimento da parte aérea e qualidade de raiz no campo de mudas seminais de <i>Pinus maximinoi</i> .....	54

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

APHC	Área de Projeção Horizontal da Copa
APHSR	Área de Projeção Horizontal do Sistema Radicial
BFPA	Biomassa Fresca da Parte Aérea
BFR	Biomassa Fresca da Raiz
BFT	Biomassa Fresca Total
BSPA	Biomassa Seca da Parte Aérea
BSPA/BSR	Relação Biomassa Seca da Parte Aérea/Biomassa Seca da Raiz
BSR	Biomassa Seca da Raiz
BST	Biomassa Seca Total
CDR	Coefficiente de Deformação Radicial
CDRc	Coefficiente de Deformação Radicial no campo
CMRR	Comprimento Médio de Raízes Regeneradas
CRP	Comprimento da Raiz Principal
DC	Diâmetro de Copa
DCC	Diâmetro do Coleto em Campo
DMRL	Diâmetro Médio das Raízes Laterais
Dobrac	Dobra no campo
DSR	Diâmetro do Sistema Radicial
Espiral	Espiralamento
Espiralc	Espiralamento no campo
Estrang	Estrangulamento
Estrangc	Estrangulamento no campo
H/D	Relação Altura/Diâmetro
HC	Altura da Parte Aérea em Campo
NRFA	Número de Raízes Fisiologicamente Ativas
NRL	Número de Raízes Laterais
NRLc	Número de Raízes Laterais no campo
NRLQ	Número de Raízes Laterais por Quadrante
NRRP	Número de Raízes Regeneradas por Porção
NRRQ	Número de Raízes Regeneradas por Quadrante
NTRR	Número Total de Raízes Regeneradas
PCR	Potencial de Crescimento de Raízes
PSR	Profundidade do Sistema Radicial
VSR	Volume do Sistema Radicial

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 Gênero <i>Pinus</i> spp.....	3
2.2 Importância da qualidade de mudas florestais.....	5
2.3 Parâmetros para determinação da qualidade das mudas.....	6
2.3.1 Parâmetros morfológicos.....	7
2.3.1.1 Altura da parte aérea.....	7
2.3.1.2 Diâmetro de colo.....	8
2.3.1.3 Biomassas fresca e seca.....	8
2.3.1.4 Relações morfológicas.....	9
2.3.2 Parâmetros fisiológicos – Potencial de Crescimento de Raízes (PCR).....	10
2.4 Recipientes usados para a produção de mudas de espécies florestais.....	12
2.4.1 Recipientes e deformações radiciais.....	14
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	16
3.1 Caracterização do local do estudo.....	16
3.2 Tratamentos e procedimentos estatísticos.....	17
3.3 Fase de viveiro.....	19
3.3.1 Produção das mudas.....	19
3.3.2 Avaliação dos parâmetros morfológicos e qualidade das raízes.....	21
3.4 Determinação do Potencial de Crescimento de Raízes (PCR).....	23
3.4.1 Potencial de Crescimento de Raízes (PCR) em caixas.....	24
3.4.2 Potencial de Crescimento de Raízes (PCR) em tubos.....	25
3.5 Fase de campo.....	26
3.5.1 Plantio e avaliação do crescimento inicial.....	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
4.1 Fase de viveiro.....	30
4.1.2 Variáveis morfológicas e qualidade do sistema radicial.....	30
4.1.3 Potencial de Crescimento de Raízes (PCR).....	38
4.2 Fase de campo.....	42
4.2.1 Sobrevivência em campo.....	42
4.2.2 Crescimento inicial e características radiciais das plantas no campo.....	43
5 Conclusões.....	55
Referências Bibliográficas.....	56
Apêndices.....	66

# 1 INTRODUÇÃO

O crescente aumento da demanda por produtos e subprodutos de base florestal, no Brasil e no mundo, leva à necessidade de estudos que envolvam a seleção de espécies florestais destinadas a plantios comerciais de elevada produtividade, alta qualidade e adaptadas às condições edafoclimáticas cada vez mais adversas. Nesse sentido, o gênero *Pinus* apresenta-se como um grupo constituído por essências florestais, com elevado potencial madeireiro e não madeireiro, com capacidade para suprir essa demanda de mercado.

As características madeireiras das espécies do gênero *Pinus* propiciaram a sua introdução em maior escala no Brasil, na década de 1940, particularmente na região sul do país, através das espécies *Pinus palustris*, *Pinus echinata*, *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, sendo as duas últimas as mais plantadas, em razão da boa adaptação às condições edafoclimáticas das regiões Sul e Sudeste nesse período. Atualmente as maiores áreas plantadas com esse gênero, no Brasil, se concentram na região Sul, segundo a Indústria Brasileira de Árvores (2021).

Contudo, as empresas de base florestal vêm procurando espécies de pinus alternativas com potencial de adaptação às novas condições ambientais. Nesse aspecto, o *Pinus maximinoi* se destaca por apresentar potencial de adaptação às condições de climas temperados e tropicais, e ainda ser de elevado potencial econômico (Pérez et al., 2017).

Todavia, são escassas as informações sobre as melhores práticas silviculturais e, principalmente, sobre um adequado método de produção de mudas, especificamente para *Pinus maximinoi*, seja por via seminal ou por via vegetativa, visando a obtenção de mudas de alto padrão de qualidade, principalmente por estarem diretamente relacionadas com a sobrevivência, competitividade e o crescimento dos indivíduos após o plantio (Pinchot et al., 2018).

Dentre os fatores que determinam a qualidade das mudas florestais, o tempo de rotação no viveiro é um dos mais importantes. Em se tratando de espécies do gênero *Pinus*, suas mudas demandam tempo acima dos seis meses de idade para expedição ao campo (Biernaski, 2018). Dessa forma, práticas inadequadas de produção podem resultar em formação de mudas de má qualidade, com sistema radicular danificado (Auer e Santos, 2012).

Por outro lado, existem situações em que a permanência das mudas no viveiro se faz necessária, como épocas específicas de plantio e, ao mesmo tempo, alto padrão de

qualidade. Entre as técnicas disponíveis para que a permanência das mudas por mais tempo no viveiro não afete a sua qualidade está a utilização de recipientes de maior volume ou, segundo Azevedo et al. (2012), a poda das raízes que promoveriam um atraso no crescimento da parte aérea em detrimento do reestabelecimento do sistema radicial, sem que haja deformações no mesmo.

Outra possibilidade para contornar as dificuldades associadas ao maior tempo de permanência das mudas no viveiro é o uso de recipientes biodegradáveis. Entre as opções disponíveis, destacam-se os produzidos à base de celulose, como os paperpots. As paredes destes recipientes permitem a passagem das raízes que são podadas ao entrarem em contato com o ar, reduzindo a possibilidade de deformações radiciais e resultando em um sistema radicial de melhor qualidade.

Uma segunda vantagem relevante, proporcionada pelos paperpots, consiste na eliminação dos danos radiciais, causados pela extração das mudas dos recipientes, uma vez que essa operação não é necessária com esse tipo de recipiente (Walter et al., 2022). Iatauro (2004), avaliando a produção de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi), verificou que recipientes biodegradáveis de 26 cm<sup>3</sup> produzem mudas com qualidade e taxa de sobrevivência semelhantes a tubetes de polietileno de 55 cm<sup>3</sup>, reduzem o tempo das plantas em viveiro em 21 dias e o custo de produção, demonstrando-se um sistema mais produtivo.

Nessa perspectiva, considerando o contexto da necessidade de se pesquisar novas espécies do gênero *Pinus* com potencial madeireiro, bem como a técnica mais adequada para a produção de mudas da espécie selecionada, objetivou-se com esta pesquisa avaliar a qualidade morfofisiológica de mudas clonais e seminais de *Pinus maximinoi* produzidas em dois volumes de recipientes biodegradáveis, associados a quatro idades de expedição e ao seu crescimento inicial no campo.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 *Pinus maximinoi*

O gênero *Pinus* spp. engloba aproximadamente 90 espécies, sendo a maioria nativa dos continentes europeu, asiático e porções centro e norte do continente americano (Marchiori, 1996; Shimizu, 2008). Possui um papel de destaque na silvicultura brasileira e mundial, alcançando 1,7 milhão de hectares plantados comercialmente no ano de 2020, com uma produtividade média anual de  $30,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Esse avanço contribuiu para elevar o país ao posto de segundo maior produtor de celulose do mundo (IBÁ, 2021).

A alta demanda por algumas espécies de pinus deve-se à versatilidade de produtos gerados, uma vez que suas árvores são produtoras de fibras longas, matéria-prima para a produção de papel de maior resistência, utilizado na fabricação de caixas de papelão, papel ondulado, embalagens de cimento, dentre outros. Da madeira são produzidos painéis, móveis, caixotes, tábuas para a construção civil e da resina, tintas, vernizes, adesivos, esmaltes etc. (Shimizu, 2008).

Dentre as espécies pertencentes a esse gênero, tem-se o *Pinus maximinoi* H. E. Moore, anteriormente denominado *Pinus tenuifolia*, com ocorrência natural do México (América do Norte) até a Nicarágua (América Central). Aguiar et al. (2011) relatam que a espécie pode alcançar altura de até 40,0 m e diâmetro a altura do peito (DAP) aproximado de 100,0 cm e apresentar fuste reto com poucas ramificações. Classificada como pioneira, possui a característica de colonizar áreas com intensa insolação, o que elevou a mesma ao posto de segunda espécie de pinus mais comum nessa porção do continente americano (Dvorak et al., 2000). Adaptada a climas mais quentes e, por isso, classificada como pinheiro tropical, apresenta crescimento mais acelerado do que espécies de características de clima temperado, plantadas comercialmente no Brasil, como *Pinus taeda* (Carneiro, 2013).

Dvorak et al. (2000) afirmam que o *Pinus maximinoi* adapta-se a locais com altitudes entre 700 e 2.400 m, com precipitação média anual entre 900 e 2.200 mm. Apesar desses autores ressaltarem que a espécie se desenvolve melhor sob precipitação média anual acima de 1200 mm, sua ocorrência natural em regiões com 900 mm evidencia sua capacidade de desenvolvimento em locais com menor disponibilidade hídrica. Em relação aos tipos de solos preferidos pela espécie, existe uma defasagem na literatura sobre o tema, havendo uma menção de Fritzsons et al. (2012) sobre a ocorrência da



mesma em solos de textura argilosa. De acordo com INAB (2015), na Guatemala maiores produtividades de *Pinus maximinoi* são encontradas em locais que apresentam solos com profundidade maior que 50,0 cm, boa drenagem e pH inferior a 6,1, na camada 0-20 cm, a 6,7 na profundidade 20-40 cm e com saturação por bases entre 5% e 40%.

Apesar da escassez de informações sobre a existência de plantios comerciais com essa espécie, estudos com plantios experimentais revelam o desenvolvimento favorável no mundo e no Brasil, demonstrando seu potencial econômico. Em território brasileiro, mais especificamente no estado de São Paulo, Etori et al. (2004) relatam que a espécie alcançou, aos 11 anos de idade, 18,0 m de altura e 23,6 cm de DAP, além de um índice de sobrevivência em campo de 75,6%. Tais valores foram numericamente maiores do que os observados para *Pinus oocarpa*, uma das espécies tropicais mais plantadas no país, ambas sob as mesmas condições climáticas e geográficas que constaram de uma altitude que variou entre 800 e 1000 m, precipitação e temperatura média anual de 1169,0 mm e 19,0 °C, respectivamente.

Fier (2001), estudando o crescimento de *Pinus maximinoi* em Telêmaco Borba no estado do Paraná, observou em indivíduos de oito anos de idade, altura de 16,9 m, DAP de 20,9 cm e índice de sobrevivência igual a 93,5%. O autor verificou que tais resultados foram estatisticamente superiores em cerca de 48% aos obtidos para *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, que atualmente são as espécies de pinus que abrangem as maiores áreas de florestas plantadas com o gênero no Brasil. As condições edafoclimáticas apresentadas por esse local de estudo foram precipitação e temperatura média anual de 1473,0 mm e 18,9 °C, nessa ordem, e altitude média de 780,0 m.

Além da capacidade de acumular carbono, até maior quando comparada a outras espécies de pinus tropicais, como o *Pinus patula* (Rodríguez-Larramendi et al., 2016), o *Pinus maximinoi* possui madeira com características físicas, químicas e mecânicas favoráveis à produção de painéis de partículas orientadas, também chamados de OSB (Mendes et al., 2002), painéis colados lateralmente (Prata, 2010), painéis cimento-madeira (Iwakiri et al., 2017) e painéis compensados (Iwakiri et al., 2012). Também possui potencial para produção de energia (Pérez et al., 2017), madeira serrada (Malan, 2006) e celulose e papel (Coelho, 2017; Suardi Junior, 2016; Klock et al., 2004; Wright e Baylis, 1993).

De acordo com Malan (2006), essa espécie apresenta densidade uniforme no sentido do raio, o que pode contribuir para a obtenção de produtos de alta qualidade. No Brasil, atualmente grande parte dos estudos com *Pinus maximinoi* volta-se para a

viabilidade da produção de celulose e papel. Segundo Aguiar et al. (2011), suas fibras espessas e mais curtas que outras espécies de pinus resultam em papel de elevada qualidade.

A produção de mudas de *Pinus maximinoi* geralmente é realizada por meio de sementes em tubetes. No Brasil, as áreas experimentais existentes foram plantadas com mudas produzidas com sementes de procedência do México (Ettori et al., 2008), Honduras e Guatemala (Santos et al., 2018) e Nicarágua (Hodge e Dvorak, 2012).

Em se tratando dessas sementes, a sua germinação ocorre em média entre 7 e 24 dias após a semeadura, sendo o período estimado de permanência das mudas no viveiro de 4 a 6 meses ou até as mudas atingirem entre 20,0 e 30,0 cm de altura. O local de plantio das mudas em campo deve apresentar solo livre de plantas daninhas, compactação e alagamentos, sendo recomendadas operações de limpeza da área e drenagem para mantê-lo em condições ideais, caso necessário (INAB, 2015). Já o espaçamento de plantio comumente utilizado na Guatemala, para fins de serraria, corresponde a 3,0 x 3,0 m (INAB, 2015). Contudo, no Brasil, já se utiliza um espaçamento reduzido de 3,0 m x 2,2 m entre plantas, visando o uso da espécie para a produção de celulose e papel (Biernaski, 2018).

## **2.2 Importância da qualidade de mudas florestais**

Mudas de alto padrão de qualidade, de acordo com Carneiro (1995), apresentam elevado percentual de sobrevivência e demandam menor frequência de tratamentos culturais por apresentarem rápido crescimento no campo após o plantio. Para esse autor, apenas o fato da redução dos custos de implantação e manutenção do povoamento em decorrência do crescimento mais acelerado das plantas, já é suficiente para justificar o uso de mudas com essas características. Este mesmo autor, afirma que o padrão de qualidade pode variar conforme a espécie e as condições nas quais estas mudas estão submetidas, sendo necessária a sua produção com características tais que permitam às mesmas se desenvolverem em locais adversos, como solos compactados e em condições inadequadas de acondicionamento e transporte.

Assim sendo, a formação de povoamentos florestais de alta produtividade está diretamente associada à qualidade das mudas produzidas (Gomes et al., 1991). Essa afirmativa foi confirmada por Biernaski (2018), em pesquisa com mudas de *Pinus maximinoi* de alta qualidade, produzidas em tubetes e paperpots, onde obteve melhor

sobrevivência e desempenho no campo de plantas com 34 meses de idade.

São vários os fatores que influenciam a produção de mudas de alto padrão de qualidade, podendo citar os recipientes utilizados quanto à forma e volume, tipos de substratos, irrigação, adubação, dentre outros. Biernaski (2018), estudando diferentes recipientes envolvendo tubetes e paperpots na produção de mudas de *Pinus maximinoi*, observou que mudas de melhor qualidade e, portanto, maior sobrevivência em campo, são obtidas em tubetes de 115 cm<sup>3</sup> e com aberturas laterais ou paperpots de 55 cm<sup>3</sup>. Já Puértolas et al. (2012) constataram que mudas de *Pinus halepensis* Mill. e *Pinus pinea* L. são mais afetadas inicialmente pelo volume do recipiente do que pela adubação.

O substrato constitui um fator de grande relevância para a obtenção de mudas de qualidade, podendo a sua composição, conforme Figuerêdo et al. (2014), exercer influência sobre algumas características das mudas, como o Índice de Qualidade de Dickson. Já Barreto (2012), ao comparar a ascensão de água por capilaridade em tubetes com substratos comerciais à base de fibra de coco e casca de pinus, com dois tamanhos de partículas, verificaram que o substrato de fibra de coco de menor granulometria possui maior capacidade de reter e elevar a água, quando umedecido, podendo influenciar na qualidade da muda. O *Pinus* também é afetado pelo tipo de substrato utilizado na produção das suas mudas e, quando se adiciona biocarvão na composição do substrato, melhora-se as características químicas do mesmo e, conseqüentemente, proporciona um incremento volumétrico das plantas no campo (Trazzi, 2014).

A adubação trata-se de outro fator de estreitas relações com o substrato, promovendo uma melhoria na qualidade das mudas florestais, podendo-se citar, entre outros elementos, o efeito do nitrogênio no crescimento do sistema radicial de *Pinus halepensis*, possibilitando maior crescimento inicial das plantas no campo (Cuesta et al., 2010). Ainda, nesse sentido, Oliet et al. (2011) reportam, em pesquisa com mudas de *Quercus ilex* L. plantadas em campo, os efeitos positivos do fósforo ao proporcionar maior crescimento da parte aérea e radicial das mudas. Dessa forma, a escolha adequada do sistema de produção de mudas, considerando as suas características de crescimento, proporcionam a produção de mudas mais vigorosas e homogêneas, implicando na redução dos custos e redução do período de produção (Lima et al., 2008).

### **2.3 Parâmetros para determinação da qualidade das mudas**

A qualidade de mudas florestais pode ser determinada, segundo Wakeley (1954),

por aspectos fenotípicos, por meio de parâmetros morfológicos e fisiológicos. Esses parâmetros, de acordo com Carneiro (1995), são influenciados pelo sistema de produção da muda, ou seja, pela fertilidade do substrato, volume, forma e composição do recipiente, dentre outros, que resultarão em mudas com diferentes condições de vigor e capacidade de sobrevivência no campo em condições adversas.

### **2.3.1 Parâmetros morfológicos**

Segundo Tsakaldimi et al. (2013), as variáveis morfológicas, quando da sua avaliação, são capazes de prever com eficiência a sobrevivência e desempenho das mudas florestais no campo. As principais variáveis que compõem tais parâmetros morfológicos são: altura da parte aérea (H); diâmetro de colo (D); biomassa fresca da parte aérea (BFPA); biomassa fresca da raiz (BFR); biomassa fresca total (BFT); biomassa seca da parte aérea (BSPA); biomassa seca da raiz (BSR); biomassa seca total (BST); comprimento de raiz; relação H/D relação BSPA/BSR; e Índice de Qualidade de Dickson (IQD) (Carneiro, 1995). Características como qualidade, quantidade e distribuição de raízes também são consideradas por Alfenas et al. (2009) como importantes avaliações morfológicas.

#### **2.3.1.1 Altura da parte aérea**

A contribuição da altura da parte aérea das mudas em viveiro, para melhor predição do crescimento inicial de plantas no campo, foi observado por autores como Ivetić (2016) e Espinoza et al. (2020). Em espécies de *Pinus*, a altura pôde ser relacionada com bom desempenho em campo, conforme Regan et al. (2015), ao estudar a produção de mudas e crescimento inicial de *Pinus monticola* e Shi et al. (2018), quando pesquisaram a influência da irrigação e fertilização em *Pinus tabuliformis*.

Novaes (1998) relata que a expedição de mudas de *Pinus taeda*, com média de altura igual a 32,5 cm, promove melhor desempenho no campo. Para o *Pinus maximinoi*, no Brasil, Biernaski (2018) observou que mudas produzidas em *paperpot* de 55 cm<sup>3</sup>, com aproximadamente oito meses de idade e medindo 12,9 cm de altura, possuem uma sobrevivência, aos 30 dias após o plantio, de 71,5%.

### **2.3.1.2 Diâmetro de colo**

O diâmetro de colo é considerado uma das variáveis de medição fácil e não destrutiva, de maior relevância na predição do crescimento inicial das plantas no campo, ao se correlacionar positivamente com a massa seca das mudas (Binotto et al., 2010). Reis et al. (2008) relatam a importância do diâmetro de colo na produção de mudas do gênero *Pinus* ao observarem que a sua padronização influenciou no tempo de expedição das mudas de *Pinus elliottii* para o campo.

Também foi observado, em mudas de *Pinus taeda*, no estágio de viveiro, que o diâmetro de colo se correlaciona positivamente com a porcentagem de sobrevivência das plantas em campo aos quatro anos após o plantio (Pezutti e Caldato, 2011). Esses autores avaliaram a sobrevivência de mudas dessa espécie, com diâmetros correspondentes a 3,0; 4,0; 5,0 e 6,0 mm, e constataram menor mortalidade das plantas com valores dessa variável iguais a 5,0 e 6,0 mm. Valores de diâmetro de colo entre 6,0 e 7,5 mm também foram relacionados ao rápido crescimento e alto rendimento da conífera *Larix olgensis* por Li et al. (2011). Esses intervalos, segundo Gonçalves et al. (2000), se enquadram como ideal para a produção de mudas florestais de alta qualidade, pois consideram mudas com diâmetros entre 5,0 e 10,0 mm de qualidade satisfatória.

Apesar da escassez de informações na literatura sobre a produção de mudas de *Pinus maximinoi*, Biernaski (2018) relata que mudas com um diâmetro médio de 3,3 mm apresentam uma taxa de sobrevivência de 71,5% no primeiro mês após o plantio. Contudo, aos 34 meses, essa taxa é maior, cerca de 95%. O aumento foi atribuído pelo autor à melhoria das condições climáticas após o replantio ocorrido aos 30 dias.

### **2.3.1.3 Biomassas fresca e seca**

A biomassa vegetal consiste em um dos principais parâmetros morfológicos de avaliação de qualidade de mudas florestais e consideram-se as biomassas fresca e seca relativas às partes aérea, raiz e total. A biomassa fresca é obtida por meio de pesagem da muda após a sua retirada do recipiente e, considerando a necessidade da obtenção de valores dessa variável, as mudas devem ser separadas na altura do colo com auxílio de uma tesoura. Apesar da relação existente entre biomassa fresca e seca, deve-se atentar para o fato de que nem sempre o aumento do peso fresco significa aumento da biomassa seca, podendo haver elevação somente do teor de água, não havendo ganhos produtivos

(Reis, 1978).

A biomassa seca da parte aérea expressa a rusticidade das mudas, ou seja, a capacidade de suportar situações adversas, enquanto que a biomassa seca das raízes pode ser um estimador da sobrevivência e do crescimento inicial das mudas no campo (Carneiro, 1995). Pesquisadores como Rossa et al. (2013) e Sudrajat et al. (2019) observaram essa relação da biomassa seca com a taxa de sobrevivência das mudas após o plantio. Gomes e Paiva (2013) complementam afirmando que o peso da biomassa seca reflete o vigor das mudas e Birchler et al. (1998) relacionam essa variável com a tolerância das plantas a locais com menor disponibilidade hídrica no primeiro ano de plantio.

Oliet et al. (2009) observaram que plantas de *Pinus halepensis*, que apresentavam maior biomassa seca total, alcançaram maior taxa de sobrevivência no campo. Já Tsakaldimi et al. (2013) obtiveram correlações positivas entre biomassa seca e sobrevivência de *Pinus* em campo até os dois anos após o plantio.

#### **2.3.1.4 Relações morfológicas**

Fonseca et al. (2002), avaliando o padrão de qualidade de mudas florestais, constataram que variáveis morfológicas analisadas apenas individualmente podem levar a uma inferência equivocada sobre o vigor das plantas, principalmente por haver mudas com alturas e diâmetros incompatíveis, ocasionando resultados não esperados no campo. Dessa forma, esses autores recomendam conhecer as relações entre as variáveis morfológicas para maior segurança na classificação das mudas.

As relações morfológicas utilizadas na determinação do padrão de qualidade de mudas florestais, relatadas com maior frequência na literatura, são: altura/diâmetro, biomassa seca da parte aérea/biomassa seca da raiz e o Índice de Qualidade de Dickson. A primeira relação, também chamada de índice de robustez, possui uma vasta utilização por ser um método eficiente e não destrutivo (Caldeira et al., 2012). A relação BSPA/BSR é reportada por Amaral et al. (2016) como um índice, resultado da razão da biomassa seca da parte aérea e da raiz que significa a distribuição da biomassa entre as porções aérea e radicial.

Assim sendo, Gruffman et al. (2012) recomendam a expedição de mudas de *Pinus sylvestris* ao campo, quando as mesmas apresentarem baixas relações BSPA/BSR. A relação biomassa da parte aérea e biomassa da raiz mais equilibrada também foi eficaz

para inferir sobre o índice de sobrevivência e o crescimento inicial em campo de *Acacia macrostachya* e *Pterocarpus erinaceus* (Zida et al., 2008) e correlacionou-se fortemente com o crescimento de *Pinus nigra* até 3 anos após o plantio (Ivetic et al., 2017). Para espécies de *Pinus* cultivadas no Brasil, uma sobrevivência de 100% foi relatada por Ehlers e Arruda (2014), para plantas de *Pinus elliottii*, aos 6 meses após o plantio, que obtiveram relação H/D variando entre 4,0 e 5,4 em viveiro. Já Biernaski et al. (2017) reportam que plantas de *Pinus maximinoi*, expedidas ao campo com uma relação BSPA/BSR de 2,5, apresentaram uma taxa de sobrevivência de 97,0% aos oito meses após o plantio.

Em relação ao Índice de Qualidade de Dickson, Fonseca et al. (2002) afirmam consistir em um bom indicador de qualidade porque considera, na sua estimativa, variáveis relacionadas ao equilíbrio de distribuição da biomassa do vegetal, ao levar em consideração a relação biomassa seca da parte aérea e biomassa seca da raiz. Tsakalidimi et al. (2013) encontraram correlações significativas entre IQD e sobrevivência em campo para *Pinus halepensis*, e Ivetic et al. (2017) em *Pinus nigra*, indicando a relevância desse índice para as avaliações de qualidade de mudas florestais.

Apesar da parte aérea fornecer importantes informações sobre a qualidade das mudas, há situações em que, apenas os parâmetros morfológicos avaliados, não são suficientes para inferir sobre a qualidade das mesmas e o seu potencial de sobrevivência no campo. Assim sendo, de acordo com Novaes (1998), outros parâmetros de natureza fisiológica, como o potencial de crescimento de raízes (PCR), devem ser considerados, devido a sua importância na predição do desempenho das mudas no campo.

### **2.3.2 Parâmetros fisiológicos – Potencial de Crescimento de Raízes (PCR)**

Novaes (1998) considerou os parâmetros fisiológicos, obtidos através do PCR, como número de raízes regeneradas e sua distribuição espacial, importantes, tendo em vista a sua capacidade de absorção de nutrientes e água pelas plantas, maior número de raízes fisiologicamente ativas e a melhor exploração do solo pelo sistema radicial, fator determinante para um bom desempenho das mudas no campo. A recomendação do uso da associação de parâmetros morfológicos e fisiológicos também foi defendida por Carneiro (1995).

Os parâmetros fisiológicos são considerados por Carneiro (1995), de igual ou maior relevância, quando comparados aos parâmetros morfológicos, na avaliação da qualidade de mudas florestais, apesar de demandar maior operacionalidade na sua

obtenção. Isso porque, segundo este autor, os mesmos refletem de maneira mais imediata as condições do vegetal. Dentre os parâmetros fisiológicos mais relevantes para Carneiro (1995) está o PCR que, conforme Simpson e Ritchie (1997), consta de um meio de avaliação da capacidade de uma muda emitir e alongar novas raízes em um determinado período de tempo sob condições favoráveis. Geralmente alto PCR está associado ao maior vigor e melhor desempenho das mudas no campo após o plantio, pois aumenta a capacidade da planta em absorver água e minerais (Carneiro, 1995).

Para a determinação do PCR, fazem-se necessários alguns procedimentos, como a poda das raízes, sendo considerado por Carneiro (1995) um procedimento importante, pois elimina possíveis deformações radiciais que poderiam prejudicar o crescimento da muda em campo, aumenta o número de raízes laterais e adequa a proporção do crescimento das partes aérea e raiz. As avaliações de PCR são realizadas com o uso de recipientes denominados *rizotrons*, conhecidos como tubos, caixas e aquários (Carneiro, 1995).

Os tubos comumente são constituídos de polietileno, transparentes e cilíndricos, com dimensões aproximadas de 25,0 cm de altura e 10,0 cm de diâmetro, portando orifícios na parte inferior, visando facilitar a drenagem da água em excesso. No lado externo desses recipientes, são efetuadas ranhuras, dividindo-os em quatro quadrantes iguais com a finalidade de avaliação da distribuição espacial de raízes. Um outro tipo de recipiente são as caixas que, segundo Carneiro (1995), são confeccionadas com largura de 10 a 15 cm, apresentando fundos e paredes laterais de madeira e vidro, geralmente de formato retangular. Uma das laterais de maior dimensão compõe-se de vidro transparente para acompanhamento do crescimento das raízes (Bohm, 1979; Novaes, 1998). Os aquários, por sua vez, possuem as paredes de vidro transparente.

Enquanto tubos e caixas são preenchidos com substrato comercial, nos aquários, utiliza-se solução nutritiva, devidamente balanceada, para suprir as necessidades nutricionais das plantas em estudo, com o pH corrigido (Novaes, 1998). Tais recipientes são confeccionados em vidro transparente para possibilitar as avaliações do crescimento das raízes (Carneiro, 1995; Novaes, 1998). As porções transparentes dos tubos, caixas e aquários são revestidas com lona plástica de coloração preta para evitar a influência da luminosidade às raízes.

O PCR permite obter informações relativas ao número total e comprimento de raízes regeneradas, quando avaliado em aquários; número e distribuição de raízes em tubos; e apenas comprimento de raízes em caixas (NOVAES, 1998). De acordo com a



literatura, o PCR se correlaciona positivamente com o desempenho das mudas em campo, em várias espécies de *Eucalyptus*, como foi relatado por Serpa et al. (2017), pesquisando as características do sistema radicial de diferentes clones de *Eucalyptus* sp. Pardos et al. (2003) também observaram que mudas de *Pinus halepensis*, com maiores potenciais de regeneração de raízes, obtiveram maior sobrevivência após o plantio. Resultado semelhante foi relatado por Chiatante et al. (2002) para *Pinus nigra*.

#### **2.4 Recipientes usados para a produção de mudas de espécies florestais**

Os recipientes utilizados para a produção de mudas, tanto em relação ao volume quanto ao tipo, contribuem consideravelmente para a obtenção de povoamentos produtivos, pois, de acordo com Gomes (2001), têm como principais funções proteger as raízes, controlar a perda de água e nutrientes do substrato e, ainda, facilitar o manejo das mudas no viveiro. A influência na morfologia das mudas, custos de produção, sobrevivência e crescimento das plantas em campo, também é eminente (Puértolas et al., 2012). Esses autores observaram que mudas de *Pinus halepensis* e *Pinus pinea* possuem maior taxa de mortalidade em campo, quando produzidas em recipientes com capacidade volumétrica inferior a 300 cm<sup>3</sup>.

Seguindo a mesma tendência, Constantino et al. (2010), avaliando a sobrevivência das mudas de *Pinus taeda* em campo, produzidas em tubetes de diferentes volumes, verificaram diferença na sobrevivência das mudas aos 46 meses. Esses autores observaram que as mudas produzidas em tubetes de 55 cm<sup>3</sup> precisam permanecer no viveiro quatro meses a mais, antes da expedição ao campo, para alcançar a mesma taxa de sobrevivência daquelas provenientes de tubetes de 126 cm<sup>3</sup>. Já Biernaski (2018), comparando a produção de mudas de *Pinus maximinoi* em tubetes e *paperpots*, observou que o segundo proporcionou maior viabilidade para a produção de mudas da espécie.

De acordo com Gomes e Paiva (2013), recipientes com maiores capacidades volumétricas contribuem para a formação de mudas com arquitetura radicial semelhante a de plantas originadas de semeadura direta. Isso pode ser observado no estudo de Kostopoulou et al. (2011), no qual verificaram que mudas de *Pinus brutia* e *Pinus nigra*, produzidas em tubetes com maior volume, apresentaram melhores características morfológicas da parte aérea, quando comparadas aos recipientes de menores dimensões.

Resultados a longo prazo no campo também podem ser verificados, como mostra o estudo de Haywood et al. (2012). Essa pesquisa revelou que indivíduos de *Pinus*

*palustris*, aos cinco anos de idade, possuem maior desenvolvimento, quando provenientes de recipientes de 108 e 164 cm<sup>3</sup>, em detrimento aos de 60 cm<sup>3</sup>. Contudo, maiores volumes de recipientes elevam consideravelmente o custo de produção e de transporte das mudas (Gomes e Paiva, 2013).

Atualmente os tubetes são os recipientes mais utilizados na produção de mudas das principais essências florestais cultivadas no Brasil, em decorrência da facilidade de sua mecanização (Carneiro, 1995). Caracterizados por evitar o enovelamento das raízes, podem ser encontrados no mercado em diversos tamanhos, que se ajustam às necessidades das espécies florestais. A partir desse sistema, mudas de eucalipto puderam ser expedidas em menor tempo de produção, com boa operacionalidade no viveiro, devido, principalmente, à confecção de canteiros suspensos, resultando em melhor ergonomia, além da obtenção de maiores produtividades (Alfenas et al., 2009). Todavia, quando se pensa na produção de mudas com maior tempo de permanência no viveiro, Auer e Santos (2011) chamam a atenção para as deformações radiciais, como o enovelamento de raízes, ocorridas nesses recipientes, com mudas de espécies de *Pinus*.

Nesse cenário, buscando-se otimizar a produção de mudas e o bom desenvolvimento do sistema radicial e da muda no geral, foram desenvolvidos os recipientes biodegradáveis, os quais são caracterizados por permitir o crescimento livre de raízes laterais, reduzindo os danos à arquitetura radicial, além de poderem ser plantados com as mudas (Alfenas et al., 2009).

Pesquisas realizadas com recipientes biodegradáveis, como as de Aguiar e Mello (1974), concluíram que esses recipientes são responsáveis por proporcionar melhor arquitetura radicial com maior volume de raízes, número de raízes fisiologicamente ativas e baixo índice de deformações radiciais, após o plantio em campo.

Recipientes biodegradáveis à base de uma fina película de celulose, os denominados *paperpots*, foram avaliados na produção de mudas florestais por Bertolani et al. (1975), Zagás et al. (2004) e Kolevska e Trajkov (2012), os quais obtiveram resultados satisfatórios para as espécies *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Pinus halepensis* e *Pinus nigra*, respectivamente. Atualmente, no Brasil, a viabilidade dos *paperpots* foi pesquisada para espécies nativas (Viégas, 2015; Gabira et al., 2020), erva-mate (Walter et al., 2022), eucalipto (Santos, 2018) e *Pinus* (Biernaski, 2018).

Em relação ao desempenho das mudas nesses recipientes, Santos (2018) obteve significativos resultados com mudas clonais de eucalipto produzidas nesses recipientes, quando comparados aos tubetes. Walter et al. (2022) também alcançaram resultados

similares com mudas de *Ilex paraguariensis*. Quanto ao desempenho inicial no campo, Biernaski (2018) constatou maior taxa de sobrevivência e crescimento em mudas produzidas em *paperpots*, quando comparadas as de tubetes. Mudas de *Acer rubrum*, produzidas em *paperpots*, também desenvolveram sistema radicial desejável, com raízes retas e orientadas radialmente (Gilman et al., 2012).

O sistema de produção de mudas com *paperpot*, de acordo com Simões et al. (2021), também apresenta vantagens econômicas em relação aos sistemas de sacos plásticos e tubetes de polietileno com menor custo total. Tais resultados foram atribuídos à maior produtividade das plantas após o plantio, compensando o investimento inicial.

#### **2.4.1 Recipientes e deformações radiciais**

As deformações radiciais podem ser definidas como alterações na forma ou no direcionamento das raízes, ocasionadas por recipientes que restringem o crescimento radicial ou por plantio inadequado em campo (Sutton e Tinus, 1983). No viveiro, possuem como a principal causa o uso de recipientes incompatíveis com as necessidades da espécie florestal em produção, seja pela incompatibilidade de volumes, forma ou estrutura, que podem trazer prejuízos ao sistema radicial e, conseqüentemente, para a qualidade das mudas (Carneiro, 1995).

Correlações entre qualidade de raízes de mudas florestais e recipientes são recentemente relatados por Gallegos et al. (2020), Fuente et al. (2018) e Salisu et al. (2018). De acordo com Grossnickle (2005), o estabelecimento e sobrevivência de mudas em campo demandam um sistema radicial dotado de boa condutividade hidráulica e com raízes bem distribuídas para promover o contato da planta com o solo. No entanto, essas condições não são alcançadas, quando o sistema radicial apresenta deformações, como dobra, estrangulamento e espiralamento, consideradas por Carneiro (1995) como as mais comuns encontradas em mudas de espécies florestais.

As conseqüências de um sistema radicial mal formado podem ser observadas através da avaliação da condutividade hidráulica de raiz e da capacidade fotossintética das mudas (Figueiredo et al., 2014). Esses autores verificaram que mudas clonais de eucalipto, com deformações radiciais induzidas, têm a condutividade hidráulica da raiz reduzida, aumentando a produção de ácido abscísico e, conseqüentemente, o fechamento estomático, e redução da capacidade fotossintética das plantas. Já a longo prazo, implica na redução da capacidade de desenvolvimento das plantas em campo, pois um sistema

radicial distribuído simetricamente resulta em plantas dominantes, enquanto que o contrário contribui para a formação de plantas dominadas em um mesmo período de tempo (Mello, 1989).

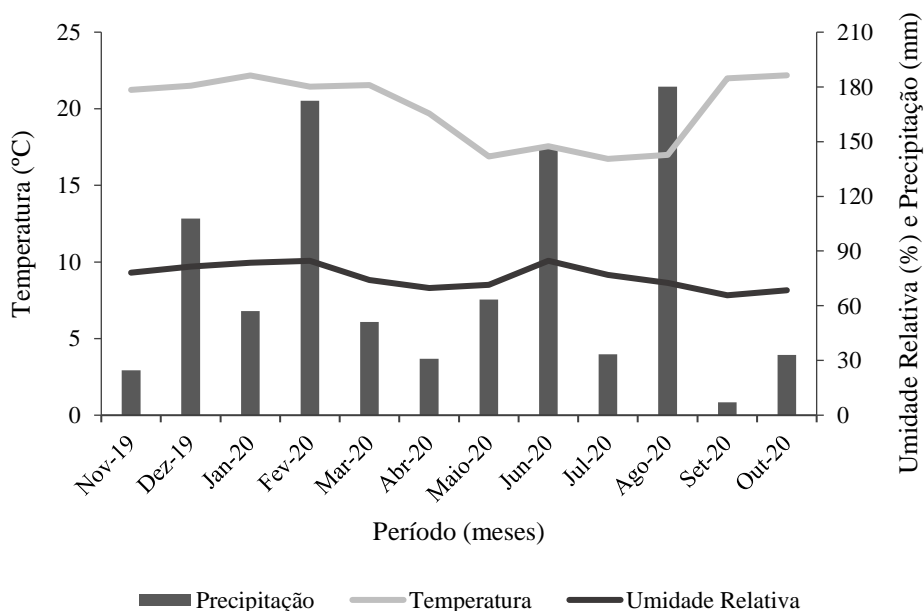
Freitas et al. (2005), confrontando a qualidade do sistema radicial de mudas clonais de eucalipto produzidas em dois recipientes, porém, um de paredes rígidas e o outro sem paredes laterais, verificaram que as mudas provenientes do segundo sistema apresentaram, aos 60 dias após transplante, melhor desempenho e menor número de deformações. Ainda segundo esses autores, a maior porcentagem de deformação e menor número de raízes novas ocorreram em mudas produzidas em tubetes, persistindo no campo após o plantio.

Diante dessas limitações do crescimento de raízes laterais, atenta-se para a necessidade do uso de recipientes que permitam o livre crescimento das raízes, como os biodegradáveis. Corroborando essa afirmação, Novaes (1998) verificou que mudas de *Pinus taeda*, produzidas em blocos prensados (sistema que não restringe o crescimento radicial), apresentaram maior potencial de regeneração de raízes e valores de massa fresca e seca radiciais, quando comparado a mudas provenientes de tubetes. Quanto aos benefícios dos *paperpots* para o sistema radicial, foram relatados por Gilman et al. (2012) ao compararem a qualidade das raízes de mudas produzidas nesses recipientes aos de plásticos, constatando, nos primeiros, quantidades de raízes mais retas e horizontais e menor número de deformações e, conseqüentemente, mudas de melhor qualidade.

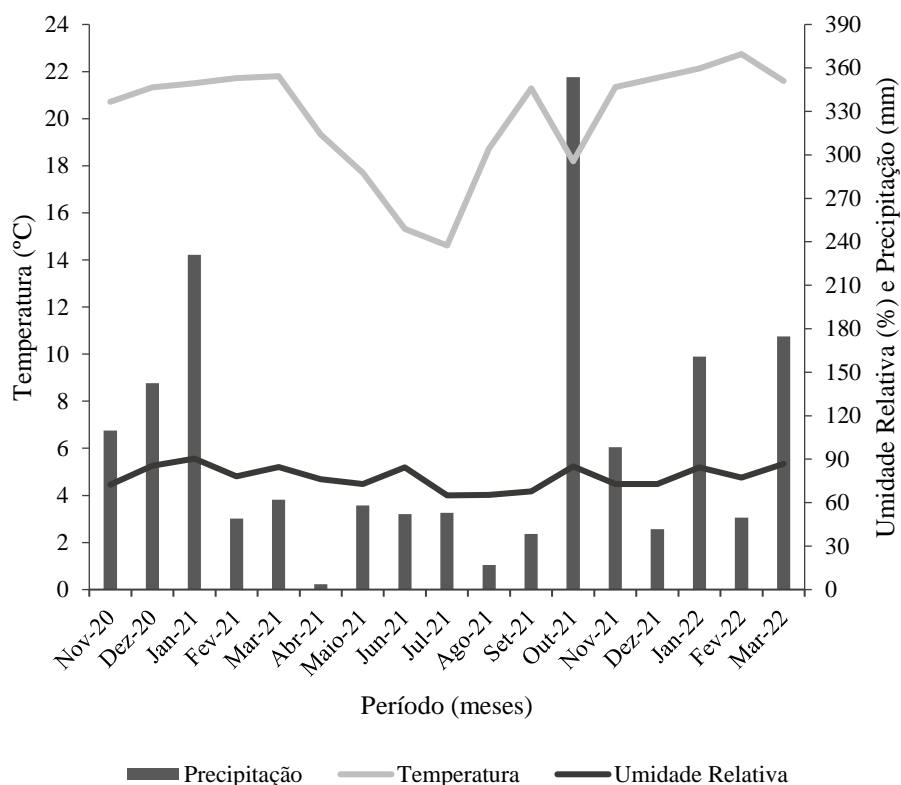
### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização do local do estudo

Este trabalho foi desenvolvido nas dependências da empresa florestal Klabin S/A, situada no município de Telêmaco Borba, estado do Paraná, Brasil, localizada na Latitude 24° 13' S, e Longitude 50° 32' O. A região apresenta clima do tipo Cfa, subtropical, segundo classificação climática de Köppen. A altitude média é de 890 metros, com temperatura média anual de 19,5 °C e precipitação média anual de 1.600 mm (Biernaski et al., 2017). A vegetação foi classificada como Floresta Ombrófila Mista e o solo corresponde ao Latossolo Vermelho Distrófico. Contudo, durante a produção das mudas no viveiro, observou-se uma temperatura média de 20,0 °C e precipitação acumulada de 908,6 mm (Figura 1). No período de estudo do Potencial de Crescimento de Raízes, constatou-se 20,7 °C de temperatura média e 146,2 mm de precipitação acumulada. Já na fase de campo, registrou-se médias de temperatura de 20,1 °C e 1.694,6 mm, respectivamente (Figura 2).



**Figura 1** – Temperaturas e umidades relativas do ar médias mensais e precipitação acumulada no período de produção das mudas (20 de novembro de 2019 a 20 de outubro de 2020).



**Figura 2** – Temperaturas e umidades relativas do ar médias mensais e precipitação acumulada no período de novembro de 2020 a março de 2022, época do desenvolvimento inicial das plantas no campo.

### 3.2 Tratamentos e procedimentos estatísticos

O presente estudo compreendeu dois experimentos, sendo um com mudas propagadas vegetativamente via miniestaquia, e o segundo com mudas seminais. Ambos os experimentos foram avaliados em duas fases, produção das mudas no viveiro e plantio no campo, apresentando o mesmo delineamento experimental e desenho estatístico. Também avaliou-se o Potencial de Crescimento das Raízes (PCR) das mudas clonais e seminais.

A fase de viveiro foi instalada em delineamento inteiramente casualizado em relação ao volume dos recipientes, esquema de parcelas subdivididas no tempo e quatro repetições. Nas parcelas, alocou-se os dois volumes de paperpot (56 e 77 cm<sup>3</sup>) e nas subparcelas as quatro idades de expedição para o campo (5, 7, 9 e 11 meses), consideradas a partir do estaqueamento para o primeiro experimento e a partir da semeadura para o segundo. Cada experimento compreendeu oito tratamentos, quatro repetições e um total

de 2.080 mudas produzidas, onde 320 mudas foram utilizadas nas avaliações da qualidade de raiz e da parte aérea, 112 nas avaliações do PCR e 320 avaliadas no campo. Em relação aos tratamentos, considerou-se como testemunha a combinação do paperpot de 56 cm<sup>3</sup> e mudas expedidas aos sete meses de idade, considerando o padrão da empresa. A seguir, encontram-se os tratamentos alocados:

- T-1: Paperpot de 56 cm<sup>3</sup> + 5 meses;
- T-2: Paperpot de 56 cm<sup>3</sup> + 7 meses;
- T-3: Paperpot de 56 cm<sup>3</sup> + 9 meses;
- T-4: Paperpot de 56 cm<sup>3</sup> + 11 meses;
- T-5: Paperpot de 77 cm<sup>3</sup> + 5 meses;
- T-6: Paperpot de 77 cm<sup>3</sup> + 7 meses;
- T-7: Paperpot de 77 cm<sup>3</sup> + 9 meses;
- T-8: Paperpot de 77 cm<sup>3</sup> + 11 meses.

Para a avaliação do PCR em tubos e caixas, foi adotado o delineamento experimental inteiramente casualizado, com o mesmo número de tratamentos estabelecido na produção das mudas no viveiro. Para a sua determinação em tubos, utilizou-se sete repetições, sendo uma muda por parcela, totalizando-se 56 mudas. Já nas caixas, utilizou-se quatro mudas por tratamento, totalizando 56 mudas. No experimento de campo, adotou-se os mesmos tratamentos e esquema de parcelas subdivididas, e utilizou-se o delineamento experimental em blocos ao acaso, com quatro repetições e 10 mudas por parcela, totalizando-se 320 plantas no experimento.

Para ambos os experimentos, seminal e vegetativo, efetuou-se a análise de normalidade dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk. As médias foram comparadas pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ), utilizando-se o software Sisvar, versão 5.6. Realizou-se ainda Correlações de Pearson entre os parâmetros morfológicos, radiciais em viveiro e do PCR com o desempenho das plantas no campo, utilizando-se o software SigmaPlot v.14.0. A correlação foi considerada moderada, fraca, forte, muito forte ou perfeita, quando seus coeficientes foram, nessa ordem, menor ou igual 0,39; 0,40 a 0,69; 0,70 a 0,89; 0,90 a 0,99 e 1,0.

Visando atender ao requisito estatístico da normalidade, alguns dados precisaram

ser transformados por  $\sqrt{x}$ , quando não havia a presença de valor zero; e por  $\sqrt{x+1}$ , quando pelo menos uma das repetições apresentou valor nulo. No experimento de campo com mudas clonais, utilizou-se a transformação  $\sqrt{x}$  para as variáveis: dobra, coeficiente de deformação radicial e área de projeção horizontal das raízes. As variáveis de viveiro, transformadas por  $\sqrt{x}$ , foram: altura; biomassa fresca da parte aérea, raiz e total; biomassa seca da parte aérea, raiz e total; relações altura/diâmetro e biomassa seca da parte aérea/biomassa seca da raiz; Índice de Qualidade de Dickson (IQD); número de raízes fisiologicamente ativas; dobra; estrangulamento; coeficiente de deformação radicial e volume do sistema radicial.

A transformação  $\sqrt{x+1}$  foi utilizada nas variáveis de campo para estrangulamento e número de raízes laterais por quadrante. Também foi realizada essa transformação para as variáveis de viveiro, correspondentes ao potencial de crescimento das raízes, tais como número de raízes regeneradas por quadrante; número de raízes regeneradas por porção; número total e comprimento médio de raízes regeneradas.

Para o experimento com mudas seminais, no viveiro, utilizou-se a transformação  $\sqrt{x}$  para as variáveis: estrangulamento e volume do sistema radicial; enquanto que, no campo, utilizou-se para as variáveis: dobra; estrangulamento; coeficiente de deformação radicial e número de raízes laterais por quadrante. Aplicou-se, ainda, a transformação  $\sqrt{x+1}$  em número de raízes regeneradas por quadrante; número de raízes regeneradas por porção (superior e inferior); número total e comprimento médio de raízes regeneradas e, também, em número de raízes laterais por quadrante, considerando as plantas do campo.

Em relação ao arranjo de parcelas subdivididas, em ambos os experimentos, apesar da maioria das variáveis serem analisadas com o fator volume do paperpot fixado nas parcelas e idade nas subparcelas, para as variáveis número de raízes regeneradas por porção, número de raízes regeneradas por quadrante e número de raízes laterais por quadrante, adotou-se como fator das parcelas porção e quadrante, respectivamente.

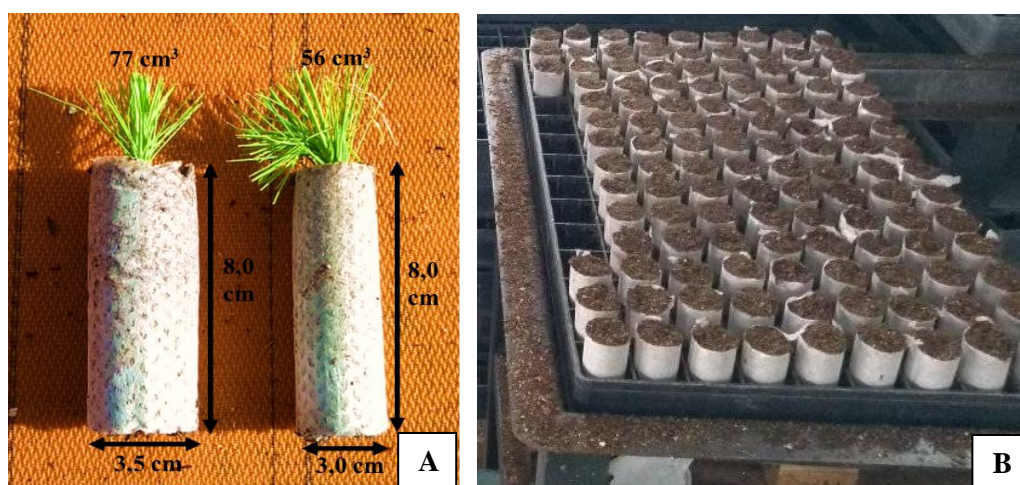
### **3.3 Fase de viveiro**

#### **3.3.1 Produção das mudas**

As mudas correspondentes aos dois métodos de propagação foram produzidas em dois volumes de recipientes biodegradáveis do tipo paperpot. Estes são constituídos por



uma película de celulose, apresentando diâmetros de 3,0 e 3,5 cm, e altura padronizada em 8,0 cm, ambos com capacidades volumétricas de 56 e 77 cm<sup>3</sup>, respectivamente (Figura 3A). O substrato usado continha 80% de substrato comercial (composto por turfa de Sphagnum, vermiculita expandida, calcário dolomítico e gesso agrícola) e 20% de casca de arroz carbonizada. Acrescentou-se o fertilizante de liberação lenta Osmocote® na formulação 18:06:09 (4,0 g L<sup>-1</sup> de substrato) e o fungicida biológico Trichoderma® (0,5 mL L<sup>-1</sup> de substrato). As bandejas utilizadas com os recipientes possuíam 126 cavidades e dimensões de 37,5 cm de largura e 58,0 cm de comprimento (Figura 3B).

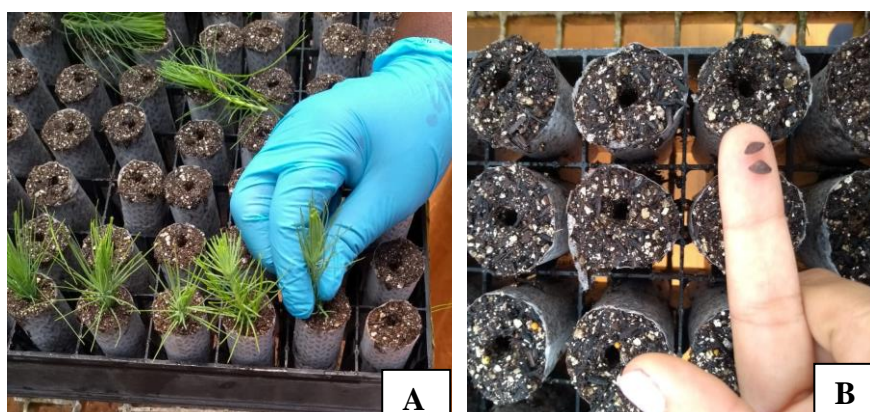


**Figura 3** – Aspectos dos recipientes biodegradáveis, paperpots de 77 e 56 cm<sup>3</sup> (A), e da bandeja (B), utilizados para a produção de mudas de *Pinus maximinoi*.

Para o experimento com mudas propagadas vegetativamente, utilizou-se miniestacas, com dimensões de 5,0 cm de altura e 2,0 mm de diâmetro, inseridas no substrato a uma profundidade de 2,5 cm (Figura 4A). Já com mudas seminais, utilizou-se duas sementes em cada recipiente (Figura 4B), obtidas de matrizes localizadas na área da empresa, no município de Telêmaco Borba, PR. Anteriormente à semeadura, as sementes permaneceram imersas em água por 24 horas, visando ativar a germinação que ocorreu entre 20 e 30 dias. Quando as plântulas alcançaram 5,0 cm de altura, procedeu-se o desbaste, deixando-se apenas uma em cada recipiente.

As operações de estaqueamento e semeadura ocorreram nos períodos de novembro de 2019 e janeiro, março e maio de 2020, correspondendo, respectivamente, às idades de 11, 9, 7 e 5 meses. A produção das mudas, expedidas aos 11 meses, coincidiram com a estação da primavera, enquanto aquelas expedidas com 9 e 7 meses, com a estação do verão e, finalmente, as mudas expedidas com 5 meses coincidiram com a estação do outono. As informações com os fatores climáticos desses períodos

encontram-se na Figura 1.



**Figura 4** – Operações de estaqueamento (A) e semeadura (B) de *Pinus maximinoi*.

Após essas operações, as bandejas contendo os recipientes com as miniestacas e com as sementes, foram levadas à casa de vegetação climatizada, com temperaturas variando entre 20 °C e 30 °C, e umidade relativa do ar de aproximadamente 80%, onde permaneceram por um período de 60 dias, sob irrigação por microaspersão, período em que foram disponibilizados fertilizantes. Constatado o enraizamento ou a germinação da grande maioria das sementes, as mudas foram rearranjadas nas bandejas, de forma alternada, com densidade de 35 mudas em cada unidade. Em seguida, foram transferidas para a casa de aclimação, com sombreamento de 50%, onde permaneceram por mais 20 dias. Durante esse período, foi efetuada a fertilização diária contendo macro e micronutrientes (N-27,9%; P-15,3%; K-14,2%; Ca-16,7%; Mg-6,7%; S-18,7%; B-0,1%; Mn-0,3%). Posteriormente as mudas foram submetidas a um processo de rustificação em ambiente à pleno sol até completar suas respectivas idades de expedição para o campo, período no qual foi efetuada a fertirrigação com macro e micronutrientes (N-28,7%; P-12,5%; K-29,1%; Ca-15,3%; S-13,7%; B-0,1%; Fe-0,5%; Mn-0,2%).

### 3.3.2 Avaliação dos parâmetros morfológicos e qualidade das raízes

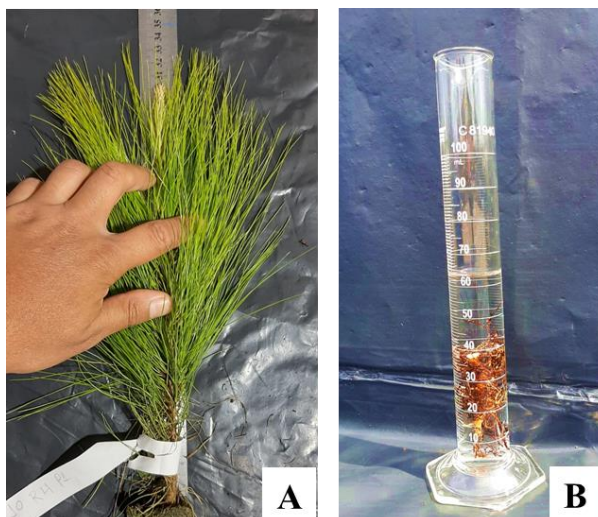
Aos 5, 7, 9 e 11 meses, após as operações de estaqueamento e semeadura, realizou-se a avaliação da qualidade da raiz e dos parâmetros morfológicos. As 10 mudas por repetição de cada tratamento foram retiradas aleatoriamente das bandejas e, em seguida, retirada a película de celulose que envolvia o substrato. Posteriormente, foi efetuada uma lavagem cuidadosa do sistema radicial, visando a separação do substrato aderido às raízes.

Após esse procedimento, foi efetuada a contagem do número de raízes fisiologicamente ativas (NRFA), considerando as raízes de coloração esbranquiçadas e, ainda, o número de raízes laterais (NRL) e suas respectivas deformações quanto a dobras, espiralamento e estrangulamento (Figura 5). Considerou-se como dobra a mudança na direção do crescimento da raiz ao tocar nas paredes do recipiente, como espiralamento, o crescimento em espiral; e como estrangulamento, a sobreposição de raízes. Posteriormente, as mudas foram postas em bancadas sobre papel absorvente por um período de 24 horas para escorrimento da água superficial.



**Figura 5** – Aspectos de deformações radiciais encontradas em mudas de *Pinus maximinoi*.

Decorrido esse período, mensurou-se os parâmetros: altura da parte aérea (H) (cm), utilizando-se régua graduada (Figura 6A); e o diâmetro de colo (D) (mm) com paquímetro digital. Em seguida, as mudas foram submetidas a um corte à altura do colo, utilizando-se tesoura de poda, separando-se a parte aérea do sistema radicial. Após essas mensurações, efetuou-se a pesagem das respectivas porções, visando a obtenção da biomassa fresca da parte aérea (BFPA), da raiz (BFR) e biomassa total (BFT) (g). Posteriormente, determinou-se o volume do sistema radicial (VSR) (cm<sup>3</sup>) pelo método da proveta (Figura 6B). Esse método consiste em imergir as raízes em água, considerando que cada mL do líquido deslocado corresponde a 1,0 cm<sup>3</sup>. Em seguida, o material vegetal foi colocado separadamente em sacos de papel, devidamente identificados, e levado a uma estufa de circulação forçada de ar, a 65 °C, por um período de 48 horas, visando a determinação das biomassas secas da parte aérea (BSPA), raiz (BSR) e total (BST) (g).



**Figura 6** – Aspectos da mensuração das variáveis altura da parte aérea e do volume do sistema radicial de mudas de *Pinus maximinoi*.

A partir dos parâmetros morfológicos, foram estabelecidas as relações altura/diâmetro (H/D), biomassa seca da parte aérea/biomassa seca da raiz (BSPA/BSR) e o Coeficiente de Deformação Radicial (CDR) (%) ou porcentagem de deformação de raízes, obtido através da divisão: (número total das deformações radiciais - dobra, espiralamento e estrangulamento - pelo número de raízes laterais) x 100. Também calculou-se o Índice de Qualidade de Dickson (IQD), por meio da Equação 1 (Dickson et al., 1960).

$$IQD = \frac{BST (g)}{\frac{H (cm)}{D (mm)} + \frac{BSPA (g)}{BSR (g)}} \quad \text{Equação 1}$$

Sendo: IQD = Índice de Qualidade de Dickson;

BST = Biomassa seca total;

H = Altura da parte aérea;

D = Diâmetro de colo;

BSPA = biomassa seca da parte aérea;

BSR = biomassa seca de raiz.

### 3.4 Determinação do Potencial de Crescimento de Raízes (PCR)

Os testes do PCR em caixas e em tubos foram instalados em outubro de 2020, após as mudas atingirem as respectivas idades de 5, 7, 9 e 11 meses.

### 3.4.1 Potencial de Crescimento de Raízes (PCR) em caixas

Para avaliação desse parâmetro, utilizou-se 14 caixas confeccionadas de madeira, com dimensões de 50,0 cm de comprimento, 30,0 cm de altura e 10,0 cm de largura. Cada caixa apresentou um dos lados maiores, constituído de vidro transparente, sendo preenchida com o mesmo substrato utilizado no viveiro, sem a adição de adubo e fungicida biológico, e comportou quatro mudas espaçadas de 12,0 cm, totalizando 56 mudas em todo o experimento (Figura 7).



**Figura 7** – Determinação do Potencial de Crescimento de Raízes (PCR) de mudas de *Pinus maximinoi* em caixas.

Para a instalação desse experimento, retirou-se, de forma aleatória do viveiro, sete mudas de cada tratamento e, em seguida, separou-se cuidadosamente o substrato das raízes. Antes do processo de transplante, as raízes laterais foram podadas a uma distância de aproximadamente 4,0 cm do eixo da raiz principal e, posteriormente, transplantadas nos respectivos recipientes, onde avaliou-se semanalmente o comprimento médio de raízes regeneradas (CMRR) (cm). Após o transplante das mudas com as raízes podadas, as caixas foram postas em estrutura suspensa e a pleno sol, inclinadas em ângulo de 30° para orientar o crescimento das raízes, seguindo o geotropismo positivo, possibilitando a sua mensuração na face de vidro o qual, foi revestido por um plástico de cor preta, visando evitar a interferência da luz. As caixas foram irrigadas diariamente, enquanto a leitura do comprimento médio das raízes novas foi efetuada na parede de vidro em intervalos de sete dias, utilizando-se régua graduada e finalizando aos 44 dias, quando a maioria das caixas apresentaram raízes tocando na sua porção inferior.

### 3.4.2 Potencial de Crescimento de Raízes (PCR) em tubos

Para a instalação desse experimento, utilizou-se garrafas plásticas pet transparentes. Após a remoção dos seus respectivos rótulos e gargalos, obteve-se tubos com capacidade volumétrica de 1,9 L. Visando avaliar a distribuição horizontal das raízes regeneradas, estes recipientes foram divididos em quadrantes (A, B, C e D), por meio de quatro riscos longitudinais e equidistantes no lado externo das paredes (Figura 8). Já a distribuição vertical foi avaliada a partir das duas porções do recipiente, superior e inferior, divididas através de um risco horizontal. Os recipientes também receberam seis furos na parte inferior, visando facilitar a drenagem da água em excesso.

Após o preparo das mudas, conforme os mesmos procedimentos adotados no experimento anterior, estas foram transplantadas, uma em cada tubo, já preenchidos com o mesmo substrato utilizado no viveiro e sem a adição de adubo e fungicida biológico. Em seguida, esses recipientes foram revestidos com lona plástica de cor preta, visando evitar a interferência da luz às raízes e acondicionados sobre um canteiro suspenso e à pleno sol (Figura 8). As regas foram efetuadas diariamente de forma homogênea em todo o experimento. A avaliação do potencial de crescimento das raízes foi efetuada a cada três dias por meio do registro das raízes regeneradas e visíveis nas paredes laterais dos tubos, utilizando-se um pincel permanente, marcando-se os pontos tocados pelas raízes nas paredes dos recipientes para evitar recontagem. Este experimento foi finalizado quando as raízes regeneradas tocaram o fundo da maioria dos tubos, o que ocorreu aos 43 dias. Avaliou-se os seguintes parâmetros: a) número total de raízes regeneradas visíveis nas paredes dos tubos, compreendendo os quatro quadrantes; b) número de raízes regeneradas visíveis nas paredes dos tubos nas porções superior e inferior.



**Figura 8** – Determinação do Potencial de Crescimento de Raízes (PCR) de *Pinus maximinoi* em tubos.

### 3.5 Fase de campo

#### 3.5.1 Plantio e avaliação do crescimento inicial

O experimento foi instalado em uma área onde recentemente houve a colheita de uma floresta de eucalipto, portanto, não foi necessário realizar a limpeza do terreno, todavia, o preparo do solo foi realizado com o auxílio de um subsolador do tipo ripper, a uma profundidade de 50 cm nas entrelinhas do plantio anterior.

Antes do plantio das mudas e visando conhecer as características químicas e físicas do solo, foi realizada, para cada área dos dois experimentos, coletas de solo em camadas de 0-20 cm e 20-40 cm de profundidade, obtendo em cada uma 20 amostras simples, posteriormente transformadas em amostras compostas. Já a densidade do solo foi determinada a partir da coleta de quatro amostras indeformadas com uso de anéis volumétricos de 48,7 cm<sup>3</sup> nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm. Quanto à granulometria, esta foi obtida pelo método da pipeta. Os resultados obtidos mostraram que este sítio apresentou média fertilidade (Tabela 1) e texturas argilo arenosa, na camada 0-20 cm; e argilosa, na camada 20-40 cm de profundidade.

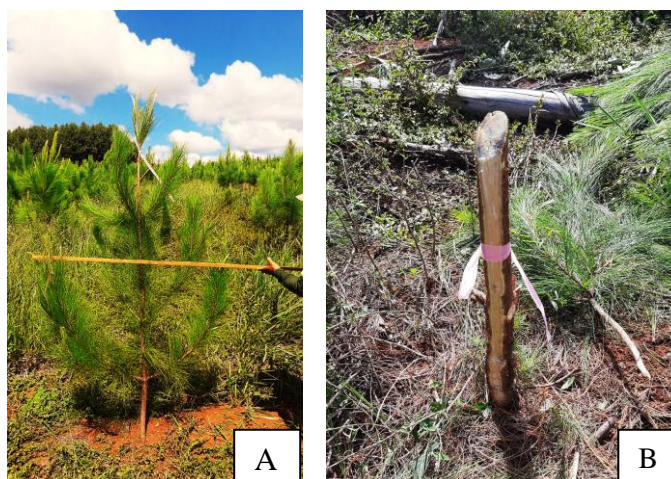
**Tabela 1** – Atributos químicos e físicos do solo sob plantas de *Pinus maximinoi* nas camadas 0-20 cm e 20-40 cm de profundidade

Camada	pH	P	Al	H+Al	K	Ca	Mg
		mg dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				
0-20 cm	4,8	1,6	1,5	10,9	0,08	0,9	0,4
20-40 cm	4,8	0,4	1,8	10,9	0,06	0,4	0,2
	S	Zn	Cu	B	Mn	MO	
	mg dm <sup>-3</sup>					%	
0-20 cm	14,0	0,4	0,9	0,4	6,0	2,7	
20-40 cm	20,0	0,2	0,8	0,3	3,0	1,9	
	ARE	SIL		ARG		Ds	
	%					g cm <sup>-3</sup>	
0-20 cm	52	10		38		1,46	
20-40 cm	30	14		56		1,40	

pH (água); P e K extraíveis por Mehlich<sup>-1</sup>; Ca, Mg e Al trocáveis por KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. MO: Matéria orgânica do solo; ARE: areia; SIL: silte; ARG: argila; Ds: densidade do solo. Análises realizadas de acordo com Embrapa (2017).

Quanto à instalação do experimento, as mudas foram plantadas obedecendo-se um espaçamento de 1,82 m entre plantas e 3,30 m entre linhas ( $6,01 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$ ), totalizando uma área total de 0,70 ha, considerando as plantas da bordadura quádrupla. O plantio ocorreu de forma manual, com adição de 500 ml de solução de hidrogel por cada muda plantada. Aos 30 dias após o plantio, avaliou-se a sobrevivência (%) das mudas. O controle químico de formigas foi realizado aos 30 dias, quatro e sete meses após o plantio. Já o controle químico das plantas infestantes ocorreu, em média, a cada três meses. Aos quatro meses após o plantio, efetuou-se uma adubação de cobertura, utilizando-se  $150 \text{ g planta}^{-1}$  de NPK 04-42-06, distribuídas em duas covetas laterais.

A segunda avaliação de sobrevivência foi efetuada aos 16 meses do plantio, ocasião em que se avaliou também o desempenho das plantas no campo por meio da mensuração da altura da parte aérea o (HC) (cm) e do diâmetro do coleto (DCC) (mm) utilizando-se, respectivamente, régua graduada e paquímetro digital. Ao final desse mesmo período, foi mensurado o diâmetro de copa (DC) ( $\text{m}^2$ ) de todas as plantas, através de régua graduada, nos sentidos norte/sul e leste/oeste (Figura 9A). Posteriormente a esse processo, efetuou-se uma marcação próxima ao coleto da planta, no sentido norte, com a finalidade de orientação da mensuração do diâmetro do sistema radicial (Figura 9B).



**Figura 9** – Mensuração do diâmetro de copa (A) e marcação do sentido norte (B) em plantas de *Pinus maximinoi*, 16 meses após o plantio.

O sistema radicial das plantas foi avaliado em campo aos 16 meses e, nesse período, retirou-se de cada bloco oito plantas, uma de cada tratamento, perfazendo 32



plantas em cada experimento, totalizando 64 nos dois experimentos. O critério de escolha recaiu sobre as plantas que apresentavam alturas e diâmetros de coleto próximos da média geral do tratamento. O procedimento de retirada constou do auxílio de enxadões e pás, escavando-se uma vala com aproximadamente 50,0 cm de raio em torno de cada planta a uma profundidade de aproximadamente 60,0 cm, visando à retirada completa do torrão, evitando danos às raízes, conforme Novaes (1998). Ainda no campo, as raízes foram separadas cuidadosamente do solo, momento em que se procedeu também a separação, na altura do coleto, das partes aérea e da raiz, e mensurada a profundidade do sistema radicial (PSR) (cm), utilizando-se régua graduada. Posteriormente, cada raiz devidamente identificada foi submetida a uma lavagem cuidadosa com água corrente e posta para secagem em local coberto e ventilado por um período de 24 horas.

Após esse período e considerando-se as raízes em condições de avaliação, foi efetuada, por meio de uma fita métrica, as mensurações do comprimento da raiz principal (CRP) (cm) para o experimento com mudas seminais e, considerando o experimento com mudas clonais, a média das duas raízes principais. Efetuou-se, ainda, a contagem do número de raízes laterais (NRLC) e das deformações radiciais relacionadas à dobra (dobrac), espiralamento (espiralc) e estrangulamento (estrangc). Em seguida, efetuou-se a mensuração do diâmetro do sistema radicial (DSR) (m), no sentido norte/sul, leste/oeste, com base na marcação anteriormente realizada no campo. Mensurou-se, também, por meio de um paquímetro digital, o diâmetro das raízes laterais (DRL) (mm). Quanto à avaliação da distribuição horizontal das raízes, esta foi determinada através da sobreposição do sistema radicial a um eixo formado por duas retas perpendiculares, resultando em quatro quadrantes, sendo dois superiores (A, B) e dois inferiores (C, D) (Figura 10), obtendo-se a variável número de raízes laterais em cada quadrante (NRLQ).



**Figura 10** – Distribuição de raízes laterais em quadrantes de plantas de *Pinus maximinoi*, 16 meses após o plantio.

A partir dessas variáveis, calculou-se, ainda, a porcentagem de deformações radiciais; a área de projeção horizontal da copa (APHC) (m<sup>2</sup>), através da Equação 2; e a área de projeção horizontal do sistema radicial (APHSR) (m<sup>2</sup>) pela Equação 3:

$$APHC = \frac{\pi}{4} * (DC)^2 \quad \text{Equação 2}$$

Sendo: APHC = Área de Projeção Horizontal da Copa (m<sup>2</sup>);

DC = Diâmetro de Copa (m).

$$APHR = \frac{\pi}{4} * (DSR)^2 \quad \text{Equação 3}$$

Sendo: APHSR = Área de Projeção Horizontal do Sistema Radicial (m<sup>2</sup>);

DSR = Diâmetro do Sistema Radicial (m).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Fase de viveiro

#### 4.1.2 Variáveis morfológicas e qualidade do sistema radicial

O crescimento da parte aérea das mudas foi influenciado pelos volumes dos paperpots (56 e 77 cm<sup>3</sup>) e pelas idades de expedição para campo (5, 7, 9 e 11 meses) havendo, na maioria das vezes, interação entre esses fatores em mudas clonais e seminais. Por outro lado, não se observou interação entre esses fatores no crescimento das raízes, especificamente de mudas clonais, com exceção das variáveis volume do sistema radicial e biomassa fresca da raiz. Já em mudas seminais, não houve interação apenas para número de raízes laterais. Em relação às deformações radiciais verificadas em mudas clonais, somente as variáveis dobra e coeficiente de deformações radiciais apresentaram significância para idade, enquanto em plantas seminais, observou-se interação entre volume e idade para as variáveis dobra, estrangulamento e, também, para o coeficiente de deformação radicial (Tabelas 1 e 2 dos Apêndices).

Maiores alturas da parte aérea foram observadas em mudas clonais produzidas em paperpots de 77 cm<sup>3</sup>, com 9 e 11 meses idade, alcançando valores de aproximadamente 31,0 cm (Tabela 2). Em relação ao diâmetro de colo, apesar dos fatores terem agido de forma isolada, o maior recipiente e a maior idade proporcionaram, respectivamente, um crescimento médio de 10,8% e 15,0%, quando comparado com as mudas produzidas em paperpots de 56 cm<sup>3</sup>, com idades de 5 e 7 meses (Tabelas 3). Como consequência, as biomassas frescas e secas totais também seguiram o mesmo comportamento, quando as BFTs de mudas expedidas aos 9 e 11 meses em 77 cm<sup>3</sup> foram, respectivamente, 55,1% e 58,6% maiores, quando comparadas às mudas expedidas aos 5 meses de idade (Tabela 2). Esses valores foram de 31,3% e 37,7%, nessa ordem, para BST.

Esses resultados podem ser atribuídos à maior disponibilidade de recursos, como espaço, oxigenação, nutrientes e água, possibilitados pelos paperpots de 77 cm<sup>3</sup>, aliado ao tempo mais longo no viveiro. De acordo com Trazzi et al. (2020), mudas de *Pinus taeda*, expedidas com alturas variando entre 25,0 e 30,0 cm e diâmetro maior que 2,0 mm, plantadas em condições climáticas próximas as do presente estudo, possuem crescimento satisfatório em campo até oito anos após o plantio. Esses valores corroboram os apresentados pelas mudas de 9 e 11 meses, produzidas no maior recipiente, indicando que

os paperpots de 77 cm<sup>3</sup> proporcionam, mesmo em ciclos produtivos mais extensos, a formação de mudas de *Pinus maximinoi* com bom padrão de qualidade e, conseqüentemente, a produção de florestas mais produtivas.

Os valores médios de altura da parte aérea obtidos (Tabela 2), também estão próximos aos observados por Restrepo-Llano et al. (2018), em mudas de *Pinus maximinoi* produzidas em recipiente de 160 cm<sup>3</sup> e inoculadas com fungos ectomicorrízicos (9,24 cm, aos 6 meses de idade). Esse comparativo revela o potencial dos fatores avaliados no presente estudo, tendo em vista o alcance de médias de crescimento da parte aérea, semelhantes às obtidas por esses autores.

**Tabela 2** – Médias das variáveis morfológicas e de qualidade de raiz de mudas clonais de *Pinus maximinoi* com interações, produzidas em paperpots de 56 e 77 cm<sup>3</sup>, aos 5, 7, 9 e 11 meses após o estaqueamento

Idade (meses)	Altura (cm)		BFPA (g)		BFR (g)	
	56 cm <sup>3</sup>	77 cm <sup>3</sup>	56 cm <sup>3</sup>	77 cm <sup>3</sup>	56 cm <sup>3</sup>	77 cm <sup>3</sup>
5	7,59 aD	6,93 aC	1,59 aD	1,83 aD	0,12 aD	0,15 aD
7	10,77 bC	12,81 aB	3,48 aC	4,24 aC	0,31 aC	0,33 aC
9	17,37 bB	30,50 aA	6,83 bB	17,39 aB	0,65 bB	1,75 aB
11	21,85 bA	31,12 aA	10,44 bA	19,45 aA	1,28 bA	2,93 aA
Idade (meses)	BFT (g)		BSPA (g)		BST (g)	
	56 cm <sup>3</sup>	77 cm <sup>3</sup>	56 cm <sup>3</sup>	77 cm <sup>3</sup>	56 cm <sup>3</sup>	77 cm <sup>3</sup>
5	1,72 aD	1,97 aD	0,67 aD	0,80 aC	0,75 aD	0,89 aC
7	3,79 aC	4,57 aC	1,64 aC	1,93 aB	1,84 aC	2,70 aB
9	7,44 bB	19,13 aB	3,03 bB	7,19 aA	3,38 bB	8,17 aA
11	11,72 bA	22,38 aA	4,73 bA	8,09 aA	5,49 bA	9,79 aA
Idade (meses)	H/D		VSR (cm <sup>3</sup> )			
	56 cm <sup>3</sup>	77 cm <sup>3</sup>	56 cm <sup>3</sup>	77 cm <sup>3</sup>		
5	3,90 aC	3,24 bC	0,31 aD	0,27 aC		
7	5,33 aB	5,62 aB	0,56 aC	0,43 aC		
9	7,79 bA	12,03 aA	0,80 bB	2,05 aB		
11	9,08 bA	11,68 aA	1,55 bA	3,32 aA		

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey (p < 0,05). BFPA: biomassa fresca da parte aérea; BFR: biomassa fresca da raiz; BFT: biomassa fresca total; BSPA: biomassa seca da parte aérea; BST: biomassa seca total; H/D: relação altura/diâmetro; VSR: volume do sistema radicial.

Quanto à variável diâmetro de colo, Biernaski et al. (2017) relataram médias

próximas às do presente estudo, apesar de obtidas em recipientes com volume 12,5% maior. Segundo esses autores, o diâmetro de colo médio de 3,55 mm contribuiu para uma elevada taxa de sobrevivência em campo de mudas clonais de *Pinus maximinoi*, expedidas aos oito meses de idade, atestando o elevado padrão de qualidade das mudas. A importância da expedição de mudas com diâmetro adequado, quando o objetivo é a obtenção de baixa taxa de mortalidade em campo, também foi relatada por Shi et al. (2019), para *Pinus tabuliformis*; e, para *Pinus palustris*, por South et al. (2005).

Além da altura e do diâmetro de colo, a biomassa seca das mudas também está relacionada com a sobrevivência após o plantio. Segundo Shi et al. (2019), o maior acúmulo de carbono em mudas, ao serem expedidas do viveiro, resulta em menor taxa de mortalidade em campo.

**Tabela 3** – Médias de variáveis morfológicas e do número de raízes laterais de mudas clonais de *Pinus maximinoi* com efeitos isolados, produzidas em paperpots de 56 e 77 cm<sup>3</sup> e expedidas para o campo aos 5, 7, 9 e 11 meses após o estaqueamento

Médias para volume de paperpot					
Volume (cm <sup>3</sup> )	Diâmetro (mm)	BSR (g)	BSPA/BSR	IQD	NRL
56	2,15 b	0,29 b	8,18 a	0,17 b	3,66 a
77	2,41 a	0,69 a	6,76 a	0,29 a	4,23 a
Volume (cm <sup>3</sup> )	NRFA	Dobra	Espiral	Estrang	CDR (%)
56	2,53 a	1,61 a	0,00 a	0,59 a	62,25 a
77	3,13 a	1,93 a	0,00 a	0,90 a	67,90 a
Médias para idade de expedição para o campo					
Idade (meses)	Diâmetro (mm)	BSR	BSPA/BSR	IQD	NRL
5	2,04 b	0,08 c	9,73 a	0,06 c	3,96 a
7	2,15 b	0,36 b	6,86 ab	0,19 b	3,87 a
9	2,04 a	0,61 b	8,07 ab	0,30 b	3,97 a
11	2,54 a	1,19 a	5,43 b	0,46 a	3,98 a
Idade (meses)	NRFA	Dobra	Espiral	Estrang	CDR (%)
5	2,79 a	1,14 b	0,00 a	0,53 a	43,43 b
7	2,76 a	1,99 ab	0,00 a	0,69 a	70,73 ab
9	3,03 a	1,99 ab	0,00 a	0,86 a	72,25 ab
11	2,76 a	2,07 a	0,00 a	0,92 a	76,56 a

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). BSR: biomassa seca da raiz; BSPA/BSR: relação biomassa seca da parte aérea e da raiz; IQD: Índice de Qualidade de Dickson; NRL: número de raízes laterais; NRFA: número de raízes fisiologicamente ativas; Espiral: número de espiralamentos; Estrang: número de estrangulamentos; CDR: coeficiente de deformação radicial.

No geral, as mudas seminais, produzidas em recipientes de 77 cm<sup>3</sup>, apresentaram incrementos de altura e diâmetro, em média, 34% e 24%, respectivamente, maiores quando comparadas às produzidas em paperpot de menor volume. Em relação às idades, quando se contrasta mudas de 5 e 11 meses, a diferença foi de 40% e 58%, respectivamente, em paperpot de 56 e 77 cm<sup>3</sup>. A exemplo das mudas clonais, esses resultados podem ser atribuídos às melhores condições dos fatores de crescimento proporcionadas pelo recipiente de maior volume, além do maior tempo de permanência no viveiro, ou seja, 9 e 11 meses.

Como reflexo do crescimento da altura da parte aérea e do diâmetro de colo, as biomassas fresca e seca demonstraram tendência de aumento ao longo do período pesquisado, sobretudo a partir dos 9 meses, destacando-se os paperpots de 77 cm<sup>3</sup> que obtiveram maior incremento (Tabela 4). Comparando-se com a testemunha (paperpots de 56 cm<sup>3</sup> e idade de 7 meses), observou-se BST 78% maior em mudas produzidas em paperpots de 77 cm<sup>3</sup> e expedidas para o campo aos 11 meses. Esses resultados demonstram a eficiência dos recipientes de maior volume em produzir mudas dessa espécie, mesmo em maior ciclo de formação.

Trazzi et al. (2020) consideram que mudas de qualidade são aquelas que possuem de 20 a 35 cm de altura da parte aérea e maiores que 2 mm de diâmetro do colo. As mudas seminais, produzidas em 56 cm<sup>3</sup>, alcançaram os padrões de altura e diâmetro de colo considerados ideais por Trazzi et al. (2020), quando permaneceram no viveiro por 11 meses (Tabela 4) e no maior recipiente por 7 e 9 meses. Esses melhores resultados das mudas mais velhas podem estar relacionados com o maior tempo de permanência dessas mudas em condições favoráveis de crescimento. Além de serem produzidas em estações com temperaturas e umidades mais elevadas, também foram expedidas nessas condições.

Em relação ao sistema radicial das mudas ainda no viveiro, para ambos os métodos de propagação, observou-se que, em mudas de até 7 meses de idade, os volumes pertinentes aos paperpots não influenciaram no desenvolvimento do sistema radicial. Por outro lado, quando analisado o recipiente de 56 cm<sup>3</sup> individualmente, na medida em que a muda permanece mais tempo no viveiro, este promove restrição ao crescimento das raízes, observada em mudas de 9 e 11 meses de idade (Tabela 4). Essa situação ficou evidenciada, sobretudo, pelos maiores valores de biomassa fresca de raízes e volume do sistema radicial encontrados em mudas com maiores idades, produzidas nos paperpots de 77 cm<sup>3</sup>, quando comparadas com as mudas de menores idades produzidas nos paperpots de 56 cm<sup>3</sup> (Tabelas 2 e 4), podendo inferir que suas raízes ainda tinham espaço para se

desenvolver no interior do recipiente de maior volume. O sistema radicial formado no viveiro é considerado por Shi et al. (2019) como essencial para a sobrevivência das mudas no campo, citando pesquisas com mudas de *Pinus tabuliformis*.

**Tabela 4** – Médias das variáveis morfológicas de mudas seminais de *Pinus maximinoi* com interação, produzidas em paperpots de 56 e 77 cm<sup>3</sup> aos 5, 7, 9 e 11 meses após a semeadura

Idade (meses)	Altura (cm)		Diâmetro (mm)		BFPA (g)	
	56 cm <sup>3</sup>	77 cm <sup>3</sup>	56 cm <sup>3</sup>	77 cm <sup>3</sup>	56 cm <sup>3</sup>	77 cm <sup>3</sup>
5	10,65 bD	12,9 aD	1,79 bD	2,57 aD	2,00 aD	2,80 aD
7	16,70 bC	18,42 aC	2,98 bC	3,72 aC	4,18 aC	5,79 aC
9	19,10 bB	37,67 aA	4,23 bB	6,70 aA	7,48 bB	28,87 aA
11	25,45 bA	33,22 aB	5,20 aA	5,67 aB	12,05 bA	22,14 aB
Idade (meses)	BFR (g)		BFT (g)		BSPA (g)	
	56 cm <sup>3</sup>	77 cm <sup>3</sup>	56 cm <sup>3</sup>	77 cm <sup>3</sup>	56 cm <sup>3</sup>	77 cm <sup>3</sup>
5	0,27 aD	0,27 aD	2,27 aD	3,07 aD	0,94 aD	1,11 aD
7	0,53 aC	0,66 aC	4,72 aC	6,45 aC	1,96 aC	2,12 aC
9	0,95 bB	3,05 aB	8,43 bB	31,92 aA	3,38 bB	10,99 aA
11	2,34 bA	3,62 aA	14,39 bA	25,77 aB	5,38 bA	8,72 aB
Idade (meses)	BSR (g)		BST (g)		VSR (cm <sup>3</sup> )	
	56 cm <sup>3</sup>	77 cm <sup>3</sup>	56 cm <sup>3</sup>	77 cm <sup>3</sup>	56 cm <sup>3</sup>	77 cm <sup>3</sup>
5	0,21 bC	0,40 aC	1,15 aD	1,51 aD	0,35 aD	0,38 aD
7	0,36 aC	0,39 aC	2,32 aC	2,51 aC	0,74 aC	0,86 aC
9	0,63 bB	1,63 aB	4,01 bB	12,63 aA	1,04 bB	2,99 aB
11	1,13 bA	2,01 aA	6,52 bA	10,74 aB	2,53 bA	4,45 aA

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). BFPA: biomassa fresca da parte aérea; BFR: biomassa fresca da raiz; BFT: biomassa fresca total; BSPA: biomassa seca da parte aérea; BSR: biomassa seca da raiz; BST: biomassa seca total; VSR: volume do sistema radicial.

O número de raízes laterais e o número de raízes fisiologicamente ativas não foram influenciados pelos fatores estudados em mudas clonais (Tabela 3). Sugere-se que o maior intervalo de tempo no viveiro, a partir dos 9 meses, contribuiu para o aumento do diâmetro das raízes em detrimento de sua regeneração, particularmente nos paperpots de 77 cm<sup>3</sup>, ainda que raízes de maior diâmetro tenham cumprido com a função de

sustentação da planta (Comas et al., 2013). Em mudas seminais, apesar de ter havido diferença para o número de raízes laterais, esta foi moderada, apenas 13,1% para volume e 17,3% entre as idades (Tabela 5).

**Tabela 5** – Médias das variáveis de qualidade de raiz de mudas seminais de *Pinus maximinoi* com efeitos isolados, produzidas em paperpots de 56 e 77 cm<sup>3</sup> aos 5, 7, 9 e 11 meses após a semeadura

Volume (cm <sup>3</sup> )	Médias para volume de paperpot		
	NRL	NRFA	Espiralamento
56	8,42 b	3,00 a	0,00 a
77	9,69 a	3,14 a	0,00 a
Idade (meses)	Médias para idades de expedição		
	NRLP	NRFA	Espiralamento
5	10,10 a	2,95 a	0,00 a
7	8,35 b	3,05 a	0,00 a
9	8,69 ab	3,10 a	0,00 a
11	9,09 ab	3,18 a	0,00 a

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). NRL: número de raízes laterais; NRFA: número de raízes fisiologicamente ativas.

Os valores da relação H/D, obtidos de mudas clonais (Tabela 6), encontram-se abaixo dos recomendados por Carneiro (1995), para mudas de *Pinus taeda*, produzidas no sistema de raiz nua (5,4 a 8,1). À luz dessas observações, para o presente estudo, seria necessário menores diâmetros para recipientes de menor volume e maiores diâmetros em recipientes com maiores volumes, objetivando um melhor equilíbrio de desenvolvimento das mudas produzidas no presente estudo.

Embora os indivíduos propagados por sementes, nos recipientes de 56 cm<sup>3</sup>, também não tenham alcançado esse padrão desejável, permanecendo entre 4,50 e 5,02, nos paperpots de 77 cm<sup>3</sup>, foi possível obter o padrão recomendado por Carneiro (1995) em todas as idades, observando-se valores entre 5,60 e 6,00 (Tabela 6). Todavia, ainda segundo Carneiro (1995), é importante ressaltar a influência de alguns fatores no índice de qualidade das mudas, como a densidade, fertilidade do substrato, metodologia etc., os quais provavelmente possam ter exercido influência nos resultados da presente pesquisa. Para Ivetic et al. (2017), a relação H/D é eficiente para prever o desempenho das plantas de *Pinus nigra* no campo até o terceiro ano.

Apesar do diâmetro de colo estar fortemente relacionado com a sobrevivência de



mudas de *Pinus* em campo (Pezutti e Caldato, 2011), também se faz necessário que a altura da parte aérea seja adequada para que se obtenha crescimentos satisfatórios após o plantio (Trazzi et al., 2020). Nesse sentido, considerando-se os valores da relação H/D obtidos de mudas produzidas em paperpots de 77 cm<sup>3</sup>, conjugado com outros parâmetros pesquisados neste trabalho, espera-se melhor desempenho das mudas provenientes desse recipiente. Outras relações similares e de grande importância, como BSPA/BSR, também foi pesquisada e os resultados apontaram para uma melhor distribuição de biomassa entre as partes aérea e raiz em mudas de propagação vegetativa, que apresentaram um bom equilíbrio de crescimento, conforme o Índice de Qualidade de Dickson, observado tanto para volume de recipiente, quanto para as idades estudadas (Tabela 3).

A biomassa encontra-se melhor distribuída entre parte aérea e raiz nas plantas propagadas vegetativamente do que em plantas seminais. Enquanto para o primeiro a relação BSPA/BSR variou entre 2,33 e 3,12 (Tabela 3); no segundo, obteve-se intervalos entre 2,89 e 5,48 em paperpot de 56 cm<sup>3</sup> e entre 4,50 e 6,80 em paperpot de 77 cm<sup>3</sup> (Tabela 6). Tais resultados indicam que as mudas seminais possuem maior porção de parte aérea, o que, segundo Grossnickle (2012), favorece a perda de água via transpiração e as deixam mais susceptíveis a estresses hídricos.

As mudas clonais apresentaram um crescimento equilibrado, segundo os Índices de Qualidade de Dickson, observados tanto para volume de recipiente (0,41 e 0,54) quanto para as idades (variando de 0,25 a 0,68) (Tabela 3). Já as mudas seminais com a menor idade não alcançaram valores considerados ideais, quando comparados aos resultados obtidos por Carneiro (1995), trabalhando com mudas de *Pinus taeda* em raiz nua, ou seja, maior que 0,2 (Tabela 6). Assim, pressupõe-se que esses resultados ocorreram em decorrência dos maiores valores obtidos das relações H/D e BSPA/BSR, quando comparados aos relativos à BST em mudas seminais. Por outro lado, em ambos os recipientes, o padrão desejado foi alcançado a partir de mudas de 7 meses e aumentou consideravelmente, sobretudo em paperpots de 77 cm<sup>3</sup>.

Considerando o que preconiza o IQD, no geral, os resultados obtidos do presente estudo apontam para um bom padrão de qualidade das mudas produzidas, ao se comparar com resultados observados para outras espécies muito utilizadas no Brasil, como o *Pinus taeda*. Kondo et al. (2020), ao avaliarem o crescimento de mudas de *Pinus taeda* com 5 meses de idade, obtiveram valores de IQD de 0,11 e 0,13, portanto, inferiores aos observados em mudas clonais e seminais produzidas em paperpots de 77 cm<sup>3</sup> com a mesma idade.

Quanto à análise das deformações radiciais, mudas clonais e seminais não apresentaram espiralamento. Contudo, houve efeito isolado para os volumes de recipientes e idades de expedição para as deformações dobra e estrangulamento e para o coeficiente de deformação radicial de mudas propagadas vegetativamente (Tabela 3). Em relação às mudas seminais, houve interação entre os fatores para dobra, estrangulamento e CDR (Tabela 6). Apesar da reduzida influência dos paperpots sobre as deformações radiciais, observou-se crescentes coeficientes de deformações radiciais associados às idades de expedição estudadas neste trabalho, com maior percentual em mudas de 11 meses de idade (Tabela 6).

Segundo Novaes (1998), deformações radiciais, observadas em viveiro, persistem no campo. Esse autor, em seu estudo com mudas de *Pinus taeda* com 18 meses do plantio e produzidas em blocos prensados, obteve coeficientes de deformações radiciais similares, na sequência e na intensidade, aos verificados no presente trabalho.

**Tabela 6** – Médias de relações morfológicas e deformações radiciais de mudas seminais de *Pinus maximinoi* com interações, produzidas em paperpots de 56 e 77 cm<sup>3</sup> aos 5, 7, 9 e 11 meses após a sementeira

Idade (meses)	H/D		BSPA/BSR		IQD	
	56 cm <sup>3</sup>	77 cm <sup>3</sup>	56 cm <sup>3</sup>	77 cm <sup>3</sup>	56 cm <sup>3</sup>	77 cm <sup>3</sup>
5	5,02 bA	5,92 aAB	2,89 bA	4,50 aBC	0,11 aC	0,19 aB
7	4,97 aAB	5,6 aB	5,40 aA	5,49 aAB	0,21 aC	0,24 aB
9	4,50 bC	5,62 aAB	5,48 bA	6,80 aA	0,40 bB	1,01 aA
11	4,87 bBC	6,00 aA	4,37 aA	4,80 aBC	0,67 bA	1,05 aA

Idade (meses)	Dobra		Estrangulamento		CDR (%)	
	56 cm <sup>3</sup>	77 cm <sup>3</sup>	56 cm <sup>3</sup>	77 cm <sup>3</sup>	56 cm <sup>3</sup>	77 cm <sup>3</sup>
5	1,10 bC	1,77 aC	0,85 aB	0,94 aC	22,63 aC	24,19 aC
7	1,80 aB	1,85 aC	1,04 aB	1,21 aBC	37,02 aB	36,27 aBC
9	2,67 aA	2,80 aB	1,49 aA	1,56 aB	51,34 aA	48,30 aB
11	2,25 bAB	4,82 aA	1,49 bA	2,46 aA	47,21b AB	74,02 aA

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey (p <0,05). H/D: relação altura/diâmetro; BSPA/BSR: relação biomassa seca da parte aérea/biomassa seca da raiz; IQD: Índice de Qualidade de Dickson; CDR: coeficiente de deformação radicial.

Ainda na Tabela 6, observou-se influência dos volumes nas deformações radiciais

apenas para mudas de 11 meses de idade, quando os paperpots de 77 cm<sup>3</sup> obtiveram maiores valores. Contudo, esse resultado é consequência do maior número de raízes presentes nesses recipientes, que resulta, proporcionalmente, em maior número de deformações, quando comparado ao paperpot de 56 cm<sup>3</sup>. De acordo com Freitas et al. (2018), maiores períodos das mudas em recipientes no viveiro favorecem o surgimento de deformações radiciais em espécies florestais, tendo em vista a limitação do desenvolvimento das raízes, as quais tocam nas suas paredes laterais, mudando consequentemente a sua forma.

Comparando com o trabalho de Mendonça et al. (2016), os resultados de deformação radicial para mudas seminais foram ainda melhores que os de mudas clonais, pois, no recipiente biodegradável de 56 cm<sup>3</sup>, todas as idades tiveram médias menores que as relatadas por esses autores. Fazendo outra comparação, agora com os resultados de Novaes (1998) para mudas de *Pinus taeda* produzidas em blocos prensados e raiz nua, os resultados de coeficiente de deformações radiciais para mudas seminais com idades de 5 e 7 meses foram similares aos desse autor. Todavia, já para as idades de 9 e 11 meses, observou-se valores maiores para mudas de *Pinus maximinoi* produzidas em *Paperpots*.

Já no maior paperpot, apenas as mudas de 11 meses não se enquadraram nesse ocorrido. Tais resultados demonstram, ao se comparar com outros estudos, que há indícios da superioridade da qualidade do sistema radicial de mudas produzidas em recipientes biodegradáveis em relação ao atual recipiente mais utilizado para produção de mudas florestais no Brasil, o tubete de polietileno de 55 cm<sup>3</sup>.

#### **4.1.3 Potencial de Crescimento de Raízes (PCR)**

Houve interações para o potencial de crescimento de raízes apenas em mudas seminais produzidas em paperpot de 77 cm<sup>3</sup> para as variáveis número de raízes regeneradas em quadrantes, nas porções superior e inferior dos tubos e número total de raízes regeneradas. Observou-se ainda que, em havendo efeito isolado dos fatores, as idades se destacaram para a maioria das variáveis avaliadas em ambos os métodos de propagação (Tabelas 3, 4, 5 e 6 dos Apêndices).

Não houve diferença, para mudas clonais, entre o número de raízes regeneradas nos quadrantes e nas porções superior e inferior dos tubos (Tabela 7). Esses resultados revelam uma significativa capacidade das mudas clonais de emitirem raízes bem distribuídas nos quatro quadrantes. De acordo com Novaes et al. (2002), trabalhando com

mudas de *Pinus taeda*, esse comportamento de distribuição radicial tende a permanecer após o plantio no campo, permitindo às plantas, melhor exploração do solo e, conseqüentemente, melhor aproveitamento dos fatores de crescimento como água e nutrientes.

**Tabela 7** – Médias do Potencial de Crescimento de Raízes de mudas clonais de *Pinus maximinoi*, 43 dias após o transplântio em tubos e 44 dias após o transplântio em caixas

Número de Raízes Regeneradas em Quadrantes					
Quadrante	56 cm <sup>3</sup>	77 cm <sup>3</sup>	Idade (meses)	56 cm <sup>3</sup>	77 cm <sup>3</sup>
A	1,19 a	1,40 a	5	0,80 b	0,56 b
B	1,22 a	1,13 a	7	1,13 ab	1,02 b
C	1,62 a	2,42 a	9	0,85 b	0,93 b
D	1,31 a	1,62 a	11	2,80 a	4,86 a
Número de Raízes Regeneradas (porções superior e inferior dos tubos)					
Porção	56 cm <sup>3</sup>	77 cm <sup>3</sup>	Idade (meses)	56 cm <sup>3</sup>	77 cm <sup>3</sup>
Superior	3,84 a	4,02 a	5	1,59 b	1,02 b
			7	2,53 ab	2,20 b
Inferior	1,66 a	2,46 a	9	1,66 b	2,03 b
			11	5,45 a	9,63 a
Número Total de Raízes Regeneradas					
Volume			Idade (meses)		
56 cm <sup>3</sup>	5,35 a		5	2,50 b	
			7	4,76 b	
77 cm <sup>3</sup>	6,18 a		9	3,75 b	
			11	14,76 a	
Comprimento Médio de Raízes Regeneradas					
Volume			Idade (meses)		
56 cm <sup>3</sup>	16,72 a		5	13,44 a	
			7	16,14 a	
77 cm <sup>3</sup>	18,01 a		9	19,34 a	
			11	21,09 a	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não se diferenciam entre si pelo Teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

Em relação às idades de expedição, mudas clonais de 5, 7 e 9 meses não diferiram entre si quanto ao número de raízes regeneradas nos quadrantes e em porções superior e inferior dos tubos, observando-se, ainda, uma menor quantidade de raízes ao comparar com as mudas de 11 meses (Tabela 7). Esse resultado é confirmado pela variável número total de raízes regeneradas, ao não constatar influência dos volumes dos paperpots. Ainda

nesse contexto, foi possível observar que mudas de 11 meses emitem 46,0% a mais de raízes regeneradas em relação às demais idades (Tabela 7). Todavia, não se observou diferenças entre os comprimentos de raízes regeneradas, sendo estes maiores em mudas mais velhas, provavelmente em razão do maior tempo de permanência no viveiro.

Quanto às mudas seminais, observou-se influência no potencial de crescimento de raízes para os volumes dos paperpots. Em recipiente de 56 cm<sup>3</sup>, observou-se uma distribuição uniforme de raízes regeneradas nos quadrantes e um maior número em mudas de 7 meses de idade, na porção superior dos tubos (Tabela 8). Por outro lado, mudas de 11 meses de idade se destacaram no crescimento das raízes regeneradas, que foi 23,0% maior do que a média das duas idades mais novas. Analisando os resultados de Novaes (1998), observou-se resultados superiores dessa variável para mudas de *Pinus taeda*, produzidas em blocos prensados e raiz nua, com seis meses de idade. Já as mudas de 7 e 11 meses, produzidas via semente nos paperpots de 77 cm<sup>3</sup>, não apresentaram diferença estatística entre número de raízes regeneradas nos quadrantes, revelando uma tendência de uniformidade de emissão de novas raízes.

Em relação à distribuição de raízes por porção, as mudas de 7 e 11 meses concentraram 29,5% e 32,0% de suas raízes regeneradas, respectivamente, na porção superior dos tubos (Tabela 8). Esses resultados confirmam a tendência das mudas de espécies florestais de crescimento rápido, utilizadas para produção de madeira e outros fins, de concentrarem maior número de raízes no estoque inicial do solo, onde se encontram maiores teores de nutrientes e, conseqüentemente, apresentarem maior desempenho no campo após o plantio. De acordo com as observações de York e Lobet (2017), mudas com esse perfil possuem maior potencial de absorção de nutrientes. Santos (2018), trabalhando com paperpot de dois volumes, também reporta que a maior concentração de raízes, na porção superior dos tubos, implica no desenvolvimento de grande quantidade de raízes nas primeiras camadas do solo, o que favorece maior aproveitamento de água e nutrientes pelas plantas.

**Tabela 8** – Médias do Potencial de Crescimento de Raízes de mudas seminais de *Pinus maximinoi*, 43 dias após o transplântio em tubos e 44 dias após o transplântio em caixas

Número de Raízes Regeneradas por Quadrante			
Paperpot de 56 cm <sup>3</sup>			
Quadrante		Idade (meses)	
A	2,84 A	5	1,99 B

B	2,57 A	7	4,71 A	
C	2,69 A	9	2,20 B	
D	2,17 A	11	1,76 B	
Paperpot de 77 cm <sup>3</sup>				
Quadrante				
Idade (meses)	A	B	C	D
5	3,45 bB	2,92 bA	7,07 aA	3,75 abA
7	4,29 aAB	5,15 aA	5,86 aA	4,71 aA
9	6,95 aA	4,57 abA	4,38 abA	2,84 bA
11	5,66 aAB	3,33 aA	3,75 aA	3,58 aA
Número de Raízes Regeneradas por Porção				
Paperpot de 56 cm <sup>3</sup>				
Porção			Idade (meses)	
Superior	5,81 A	5		3,75 B
		7		18,89 A
Inferior	3,00 B	9		0,46 C
		11		0,90 C
Paperpot de 77 cm <sup>3</sup>				
Porção				
Idade (meses)	Superior		Inferior	
5	11,96 aAB		7,58 aB	
7	8,30 aB		3,62 bB	
9	5,25 bB		15,48 aA	
11	17,58 aA		7,58 bB	
Número Total de Raízes Regeneradas				
Volume				
Idade (meses)	56 cm <sup>3</sup>		77 cm <sup>3</sup>	
5	8,00 bB		20,81 aAB	
7	36,95 aA		11,25 bB	
9	0,77 bC		20,81 aAB	
11	1,79 bC		25,73 aA	
Comprimento Médio de Raízes Regeneradas				
Volume			Idade (meses)	
56 cm <sup>3</sup>	18,01 A	5		16,5 B
		7		17,54 B
77 cm <sup>3</sup>	20,42 A	9		20,71 AB
		11		22,12 A

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não se diferenciam entre si pelo Teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não se diferenciam entre si pelo Teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

No geral, devido ao maior espaço e condições favoráveis disponibilizados pelos recipientes de maior volume, nestes foi possível observar maior número de raízes regeneradas para as mudas de 5, 9 e 11 meses, propagadas seminalmente. Corroborando essa afirmação, Matos et al. (2022) também observaram essa diferença no NTRR em função do volume do recipiente. Os autores obtiveram 42,6% e 22,5% a mais de raízes regeneradas em tubetes de 288 cm<sup>3</sup> e 120 cm<sup>3</sup>, respectivamente, quando comparado com o recipiente de 55 cm<sup>3</sup>. Outro fator que pode ter contribuído para esse ocorrido está no maior número de raízes laterais presentes nesses tratamentos (Tabela 5), pois, de acordo com Hankin e Watson (2020), a poda das raízes aumenta a densidade de raízes regeneradas abaixo do corte.

## 4.2 Fase de campo

### 4.2.1 Sobrevivência em campo

Em relação à sobrevivência das plantas em campo, 16 meses após o plantio, observou-se que mudas clonais, produzidas nos paperpots de 77 cm<sup>3</sup>, tiveram uma taxa de sobrevivência 18,0% maior, quando comparadas com os indivíduos do menor recipiente. Em se tratando das idades de expedição, a menor mortalidade foi obtida em mudas de 11 meses e as maiores nas duas idades mais novas (Tabela 9).

**Tabela 9** – Sobrevivência de plantas clonais e seminais de *Pinus maximinoi* 16 meses após o plantio, produzidas em paperpot de 56 e 77 cm<sup>3</sup> e expedidas ao campo aos 5, 7, 9 e 11 meses de idade

Sobrevivência de mudas clonais (%)				
Volume (cm <sup>3</sup> )	Idade (meses)			
	5	7	9	11
56	70,0	45,0	67,5	87,5
77	65,0	85,0	85,0	95,0
Sobrevivência de mudas seminais (%)				
Volume (cm <sup>3</sup> )	Idade (meses)			
	5	7	9	11
56	82,5	82,5	85,0	87,5

Para as mudas seminais, a diferença geral de sobrevivência das plantas entre os paperpots foi de apenas 3,5%. Entre as idades, mudas de 5 e 7 meses apresentaram maior mortalidade que as de 11 meses, pois estas alcançaram uma sobrevivência média (considerando os dois volumes de paperpot) de 93,8%. Todavia, a situação ideal foi observada em plantas seminais de 11 meses, produzidas em 77 cm<sup>3</sup>, quando se obteve 100% de sobrevivência aos 16 meses após o plantio. Ao se comparar a sobrevivência de mudas seminais de 9 e 11 meses em 77 cm<sup>3</sup> com a testemunha (7 meses e 56 cm<sup>3</sup>), tem-se uma sobrevivência, nessa ordem, de 8,3% e 17,5% maior. Tais resultados demonstram a viabilidade de se deixar as mudas no viveiro por até 11 meses esperando a janela ideal de plantio e ainda obter-se elevada taxa de sobrevivência em campo.

A maior sobrevivência das plantas expedidas aos 11 meses de idade pode ser explicada como uma consequência do melhor crescimento, qualidade do sistema radicial e potencial de crescimento de raízes regeneradas dessas mudas em viveiro. De acordo com Grossnickle (2012) e Grossnickle e MacDonald (2018), atributos morfológicos avaliados em viveiro e o potencial de crescimento de raiz podem ser bons indicativos da sobrevivência das plantas após o plantio para algumas espécies. O presente estudo revelou que essa afirmação é válida para mudas da espécie florestal *Pinus maximinoi*, produzidas nas condições empregadas nesta pesquisa.

As taxas de sobrevivência observadas neste estudo, para mudas seminais, podem ser consideradas altas e se aproximam das obtidas por Mitchell et al. (2012), para plantas da mesma espécie, expedidas para o campo aos 6 meses de idade, em local com características climáticas semelhantes às desta pesquisa. Contudo, a taxa de sobrevivência de 87,0%, relatada por esses autores, foi obtida aos 75 dias após o plantio, enquanto no presente estudo ocorreu aos 485 dias (16 meses), quando as plantas foram expostas por maior período a intempéries e possibilidade de mortalidade, sobretudo em baixas temperaturas (Figura 2) e geada.

#### **4.2.2 Crescimento inicial e características radiciais das plantas no campo**

Quanto às plantas oriundas de mudas clonais, foi constatada interações dos volumes de paperpots e das idades de expedição no crescimento inicial e qualidade das raízes apenas para as variáveis diâmetro de copa, área de projeção horizontal da copa e



profundidade do sistema radicial. Quando atuando de forma isolada, observou-se, para as demais variáveis, maior influência do fator idade em relação aos volumes dos paperpots (Tabela 7 dos Apêndices). Já em mudas seminais, houve efeito isolado apenas para as variáveis deformações radiciais, coeficiente de deformações radiciais, comprimento e diâmetro médio da raiz principal (Tabela 8 dos Apêndices).

Observou-se, aos 16 meses após o plantio, maiores alturas e diâmetros de coleto em plantas oriundas de mudas clonais, produzidas em paperpots de 77 cm<sup>3</sup>, que foram, respectivamente, 14,7% e 15,9% superiores que em 56 cm<sup>3</sup> (Tabela 10). Em relação às idades, essa tendência de resultado foi observada em mudas expedidas aos 9 e 11 meses, não havendo diferença estatística entre as mesmas (Tabela 10). Novaes (1998) obteve médias de 2,75 m para mudas de *Pinus taeda*, produzidas em blocos prensados aos 18 meses de idade. Atualmente, relações positivas de crescimento de mudas de *Pinus* em viveiro e em campo vêm sendo relatadas por Trazzi et al. (2020), para *Pinus taeda*; e Shi et al. (2019), para *Pinus tabuliformes*.

Trazzi et al. (2020) e Shi et al. (2019) verificaram que maiores alturas e diâmetros no viveiro promovem maiores incrementos em altura e diâmetro das plantas no campo. Esses autores atribuíram esse resultado ao maior potencial fotossintético das plantas, alcançado pela parte aérea avantajada. Também relataram que a biomassa acumulada em viveiro influencia o diâmetro e a altura em campo por até dois e três anos, respectivamente.

O melhor crescimento inicial das plantas, oriundas das mudas clonais de 9 e 11 meses no campo, está relacionado com maiores médias das variáveis morfológicas e de qualidade de raiz no viveiro. Observou-se, por exemplo, fortes correlações do diâmetro de coleto em campo, diâmetro de copa e área de projeção horizontal da copa com altura, diâmetro de colo, biomassa seca da parte aérea e da raiz, relação H/D e IQD (Tabela 13). Já a correlação dessas variáveis de viveiro com a altura em campo foi moderada.

**Tabela 10** – Médias de crescimento da parte aérea e de qualidade de raiz de mudas clonais de *Pinus maximinoi* com efeitos isolados, produzidas em paperpots de 56 e 77 cm<sup>3</sup>, expedidas para o campo aos 5, 7, 9 e 11 meses e avaliadas aos 16 meses após o plantio

Médias para volume de paperpot						
Volume	Alturac (m)	DCC (cm)	NRLC	CMRP (cm)	DMRL (mm)	DSR (m)
56 cm <sup>3</sup>	1,92 b	3,56 b	9,37 b	85,72 a	8,56 b	1,01 a

77 cm <sup>3</sup>	2,25 a	4,22 a	11,50 a	92,49 a	9,29 a	1,03 a
Volume	APHR (m <sup>2</sup> )	Dobrac	Espiralc	Estrangc	CDRC (%)	
56 cm <sup>3</sup>	0,81 a	2,16 a	0,00 a	5,08 b	38,69 a	
77 cm <sup>3</sup>	0,85 a	2,13 a	0,00 a	7,10 a	39,31 a	
Médias para idade de expedição para o campo						
Idade (meses)	Alturac (m)	DCC (cm)	NRL	CMRP (cm)	DMRL (mm)	DSR (m)
5	1,95 ab	3,33 b	8,12 c	75,46 b	8,20 a	0,91 b
7	1,81 b	3,22 b	9,25b c	83,45 b	8,39 a	0,96 ab
9	2,26 a	4,38 a	11,62 ab	96,29 a	9,58 a	1,16 a
11	2,33 a	4,64 a	12,75 a	101,22 a	9,54 a	1,05 ab
Idade (meses)	APHR (m <sup>2</sup> )	DobraC	Espiralc	EstrangC	CDRC (%)	
5	0,66 b	1,54 b	0,00a	4,84 c	34,46 a	
7	0,76 ab	2,07 ab	0,00a	5,04 bc	39,44 a	
9	1,06 a	2,76 a	0,00a	7,00 ab	42,90 a	
11	0,88 ab	2,31 ab	0,00a	7,55 a	39,56 a	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Alturac: altura em campo; DCC: diâmetro de coleto em campo; NRLC: número de raízes laterais em campo; CMRP: comprimento médio da raiz principal; DMRL: diâmetro médio de raízes laterais; DSR: diâmetro do sistema radicial; APHR: área de projeção horizontal das raízes; DobraC: número de dobras em campo; EspiralC: número de espiralamentos em campo; EstrangC: número de estrangulamentos em campo; CDRC: coeficiente de deformação radicial em campo.

Para ambos os volumes de recipiente, o crescimento da copa, tanto em diâmetro quanto em área de projeção horizontal, também foi superior nas maiores idades, porém, com maiores médias em paperpots de 77 cm<sup>3</sup> (Tabela 11). O melhor crescimento inicial das plantas clonais de 9 e 11 meses no campo está relacionado com maiores médias em variáveis morfológicas e de qualidade de raiz dessas mudas ao final do seu ciclo de produção no viveiro. Foi possível observar, por exemplo, fortes correlações do diâmetro de coleto em campo, diâmetro de copa e área de projeção horizontal da copa com altura, diâmetro de colo, biomassa seca da parte aérea e da raiz, relação H/D e IQD (Tabela 13). Já a correlação dessas variáveis de viveiro com a altura em campo foi moderada.

O sistema radicial das plantas, oriundas de mudas clonais, também seguiu a mesma tendência da parte aérea, com melhores resultados sendo observados em paperpots de 77 cm<sup>3</sup> e nas idades mais velhas (Tabelas 10 e 11). Plantas clonais expedidas ao campo, aos 9 e 11 meses, também apresentaram aumento de deformações radiciais do tipo dobra e estrangulamento (Tabela 10), que foi atribuído ao maior número de raízes presentes nessas plantas.

**Tabela 11** – Médias de crescimento da parte aérea e de qualidade de raiz de mudas clonais de *Pinus maximinoi* com interações, produzidas em paperpots de 56 e 77 cm<sup>3</sup>, expedidas para o campo aos 5, 7, 9 e 11 meses e avaliadas aos 16 meses após o plantio

Idade (meses)	Diâmetro de copa (m)		APHC (m <sup>2</sup> )		PSR (cm)	
	56 cm <sup>3</sup>	77 cm <sup>3</sup>	56 cm <sup>3</sup>	77 cm <sup>3</sup>	56 cm <sup>3</sup>	77 cm <sup>3</sup>
5	1,00 bB	1,17 aB	0,77 bB	1,07 aB	35,00 bB	42,25 aB
7	0,97 bB	1,20 aB	0,72 bB	1,10 aB	37,77 bB	44,42 aB
9	1,22 bA	1,80 aA	1,22 bA	1,80 aA	48,47 bA	70,92 aA
11	1,12 bA	1,80 aA	1,12 bA	1,80 aA	40,40 bAB	70,32 aA

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey (p < 0,05). APHC: área de projeção horizontal da copa; PSR: profundidade do sistema radicial.

Quanto à distribuição das raízes nos quadrantes, percebeu-se que os volumes dos *Paperpots* não influenciaram na distribuição horizontal das raízes em campo. Já quanto às idades de expedição, o número de raízes obtido em plantas produzidas em Paperpots de 56 cm<sup>3</sup> esteve próximo, enquanto nos *Paperpots* de 77 cm<sup>3</sup> houve maior número em plantas provenientes de mudas expedidas aos 9 e 11 meses de idade (Tabela 12).

**Tabela 12** – Médias da distribuição horizontal de raízes laterais de mudas clonais de *Pinus maximinoi* produzidas em paperpots de 56 e 77 cm<sup>3</sup>, expedidas para o campo aos 5, 7, 9 e 11 meses e avaliadas aos 16 meses após o plantio

Volume (cm <sup>3</sup> )	Quadrante			
	A	B	C	D
56	2,42 a	4,53 a	4,17 a	4,46 a
77	4,17 a	4,65 a	5,00 a	5,24 a
Volume (cm <sup>3</sup> )	Idade (meses)			
	5	7	9	11
56	4,80 a	3,62 b	4,42 ab	4,61 ab

77	3,99 c	4,39 bc	5,16 ab	5,62 a
----	--------	---------	---------	--------

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey (p<0,05).

Houve correlações moderadas para número de raízes laterais e número de estrangulamentos, e fortes para volume do sistema radicial e número de estrangulamentos no campo em plantas de origem clonal (Tabela 13). Figueiredo et al. (2019) também consideram que as deformações radiciais tendem a aumentar com a elevação do número de raízes na planta. Ainda foi possível observar uma correlação, embora moderada, entre deformações radiciais ocorridas no viveiro e no campo, sugerindo que as mesmas podem ocorrer até os 16 meses após o plantio. Os estudos de Freitas et al. (2005), Santos (2018) e Novaes (1998) também revelam a persistência de deformações radiciais após o plantio.

Um estudo recente relata que deformações radiciais em espécies florestais, após o plantio, alteram as concentrações de nutrientes nas folhas e raízes, podendo provocar um desequilíbrio fisiológico nas plantas (Santos et al., 2022). E, ainda, segundo Sousa-Santos et al. (2022), conforme for a qualidade do sítio, tais deformações podem acarretar um desbalanço na relação absorção e perda de água da planta, resultando em maior susceptibilidade a estresses. Novaes (1998), pesquisando mudas de *Pinus taeda* com 18 meses de plantio, observou que, à medida que aumentam as deformações radiciais no campo, há uma redução no desenvolvimento em altura e diâmetro do coleto.

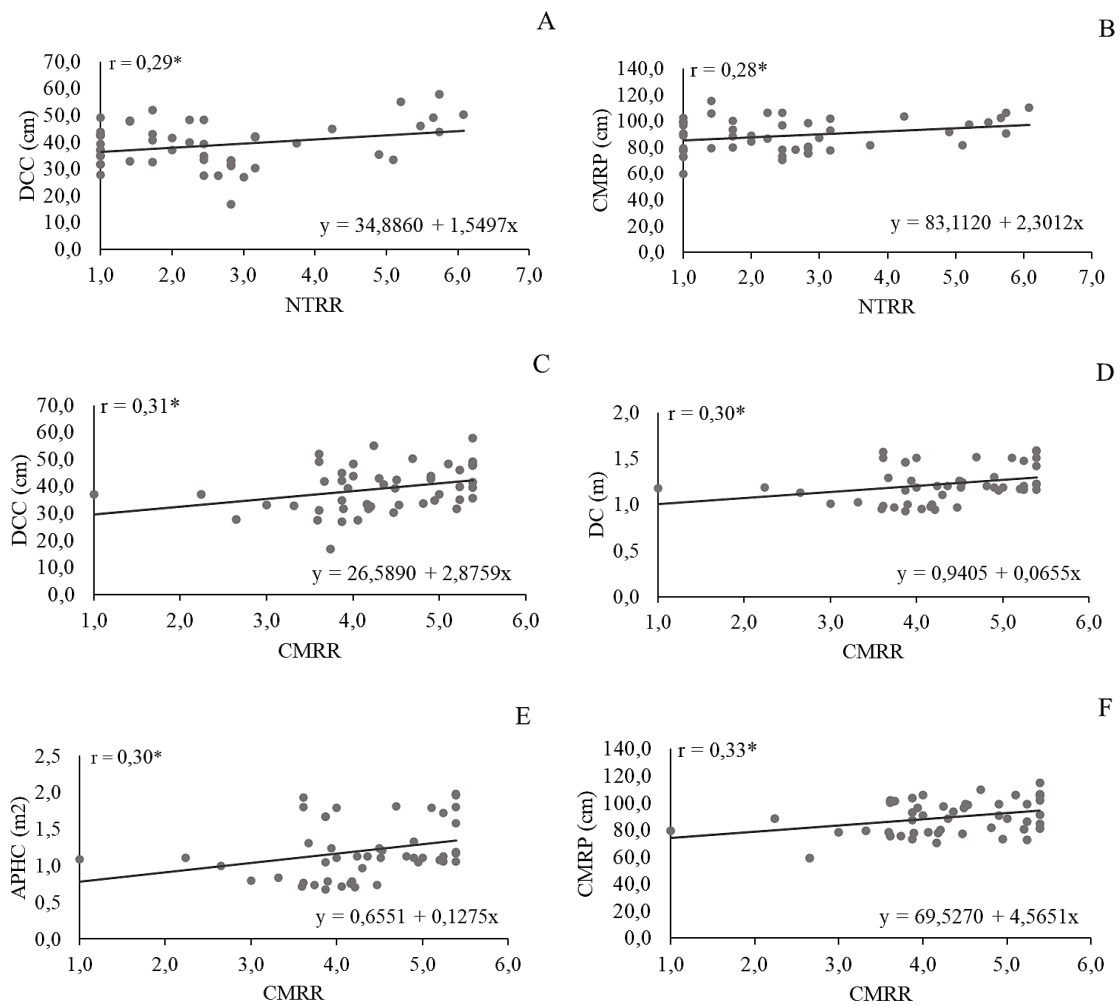
**Tabela 13** – Coeficientes de Correlação de Pearson entre variáveis morfológicas e de qualidade de raiz em viveiro e crescimento da parte aérea e qualidade de raiz no campo de mudas clonais de *Pinus maximinoi*

	AltC	DCC	DC	APHC	PSR	NRLC	CMRP	DSR	APHR	DobraC	EstrangC
Alt	0,61*	0,77*	0,83*	0,85*	0,81*	0,77*	0,81*	0,45*	0,47*	0,46*	0,74*
Diam	0,69*	0,77*	0,83*	0,85*	0,79*	0,74*	0,71*	-	-	-	0,74*
BSPA	0,62*	0,76*	0,83*	0,85*	0,81*	0,75*	0,77*	0,43*	0,46*	-	0,71*
BSR	0,48*	0,60*	0,72*	0,73*	0,71*	0,66*	0,60*	-	-	0,42*	0,60*
H/D	0,56*	0,73*	0,79*	0,81*	0,78*	0,74*	0,81*	0,48*	0,50*	0,48*	0,70*
IQD	0,50*	0,63*	0,74*	0,75*	0,72*	0,68*	0,65*	-	0,41*	0,42*	0,61*
NRL	-	-	-	-	0,47*	-	-	-	-	-	0,42*
VSR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,70*
Dobra	-	-	-	-	0,48*	-	-	-	-	-	0,40*
Estrang	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,45*

\*Significativo pelo teste t (p <0,05). Alt: altura; Diam: diâmetro de colo; BSPA: biomassa seca da parte aérea; BSR: biomassa seca da raiz; H/D: relação altura/diâmetro; IQD: Índice de Qualidade de Dickson; NRL: número de raízes laterais; VSR: volume do

sistema radicial; AltC: altura em campo; DCC: diâmetro do coleto em campo; DC: diâmetro de copa; APHC: área de projeção horizontal da copa; PSR: profundidade do sistema radicial; NRLC: número de raiz lateral em campo; CMRP: comprimento médio da raiz principal; DSR: diâmetro do sistema radicial; APHR: área de projeção horizontal das raízes; DobraC: número de raízes dobradas em campo; EstrangC: número de raízes estranguladas em campo.

Correlações positivas e fracas foram obtidas entre o potencial de crescimento de raízes de mudas clonais, por meio das variáveis número total e comprimento médio de raízes regeneradas, e desenvolvimento das plantas no campo (Figura 11).



**Figura 11** – Correlações de Pearson entre potencial de crescimento de raiz e variáveis morfológicas e de qualidade de raiz de mudas clonais de *Pinus maximinoi* aos 16 meses após o plantio. \* Significativo pelo teste t ( $p < 0,05$ ). r: coeficiente de correlação de Pearson; NTRR: número total de raízes regeneradas; DCC: diâmetro de coleto em campo; CMRP: comprimento médio da raiz principal; CMRR: comprimento médio de raízes regeneradas; DC: diâmetro de copa; APHC: área de projeção horizontal da copa.

De acordo com a literatura, as condições de cada estudo determinam a presença

ou ausência de correlação do PCR com a sobrevivência e desempenho de espécies florestais após o plantio. Fatores como espécie, condições de condução do teste e características edafoclimáticas dos locais de plantio podem influenciar positiva ou negativamente nessa correlação. Isso explica o fato de se observar no presente trabalho correlação entre o PCR e o crescimento em campo apenas em mudas seminais. Hanslin et al. (2020) observaram baixo poder preditivo do desenvolvimento de gimnospermas no campo, a partir do PCR. Já Del Campo et al. (2007), ao realizarem o estudo do PCR de *Pinus halepensis*, nos meses de novembro e fevereiro, verificaram a utilidade do mesmo como preditor de desenvolvimento das mudas após o plantio, apenas para o teste de fevereiro.

A existência de um sistema radicial bem desenvolvido é importante para sobrevivência, crescimento e resistência das plantas a estresses após o plantio no campo. Andivia et al. (2019) relatam que, em locais de climas mais secos, espécies de *Pinus* investem em crescimento radicial grande, profundo e acelerado para suportarem as condições adversas. Assim sendo, essas informações sugerem que mudas de *Pinus maximinoi*, expeditas ao campo aos 9 e 11 meses de idade, tendem a possuir maior resistência a estresses após o plantio do que as mudas mais novas.

Quando avaliado o crescimento inicial das plantas seminais no campo, observou-se um melhor desenvolvimento em relação às idades de expedição. Mudas expeditas aos 5 e 7 meses, produzidas em paperpot de 56 cm<sup>3</sup>, apresentaram um crescimento maior em altura e diâmetro do coleto no campo, quando comparadas às plantas oriundas de mudas mais velhas, sendo observado o contrário para mudas com idades de 9 e 11 meses e produzidas em paperpot de maior volume (Tabela 14).

**Tabela 14** – Médias de crescimento da parte aérea e de qualidade de raiz de mudas seminais de *Pinus maximinoi* com interações, produzidas em paperpots de 56 e 77 cm<sup>3</sup>, expeditas para o campo aos 5, 7, 9 e 11 meses e avaliadas aos 16 meses após o plantio

Idade	Altura em campo (m)		DCC (cm)		DC (m)	
	56 cm <sup>3</sup>	77 cm <sup>3</sup>	56 cm <sup>3</sup>	77 cm <sup>3</sup>	56 cm <sup>3</sup>	77 cm <sup>3</sup>
5	1,98 aAB	2,10 aB	3,81 bBC	4,12 aB	1,29aB	1,25aB
7	2,23 aA	2,40 aA	4,42 bA	4,88 aA	1,29aB	1,28aB
9	1,72 bC	2,36 aAB	3,58 bC	4,85 aA	1,29bB	1,57aA
11	1,84 bBC	2,13 aB	3,94 aB	4,15 aB	1,51aA	1,65aA
Idade	APHC (m <sup>2</sup> )		PSR (cm)		NRLC	

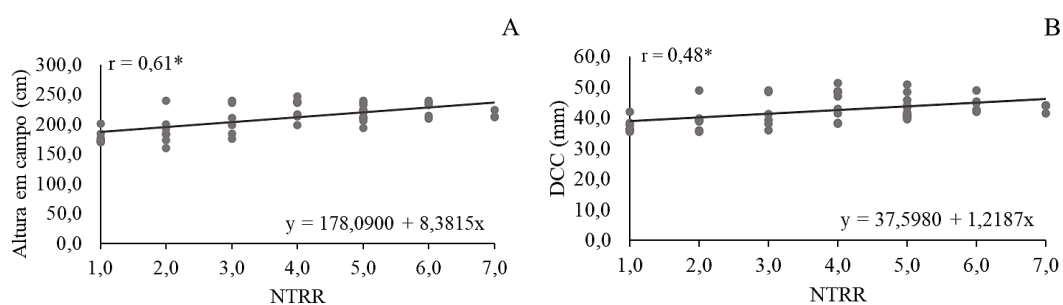
	56 cm <sup>3</sup>	77 cm <sup>3</sup>	56 cm <sup>3</sup>	77 cm <sup>3</sup>	56 cm <sup>3</sup>	77 cm <sup>3</sup>
5	1,21bB	1,31aB	38,25bB	54,00aB	10,75bB	13,50aB
7	1,32aB	1,28aB	47,75bA	54,25aB	13,50aA	13,50aB
9	1,32bB	1,94aA	49,50aA	54,50aB	13,75bA	17,75aA
11	1,80bA	2,14aA	53,25bA	71,00aA	14,75aA	16,25aA

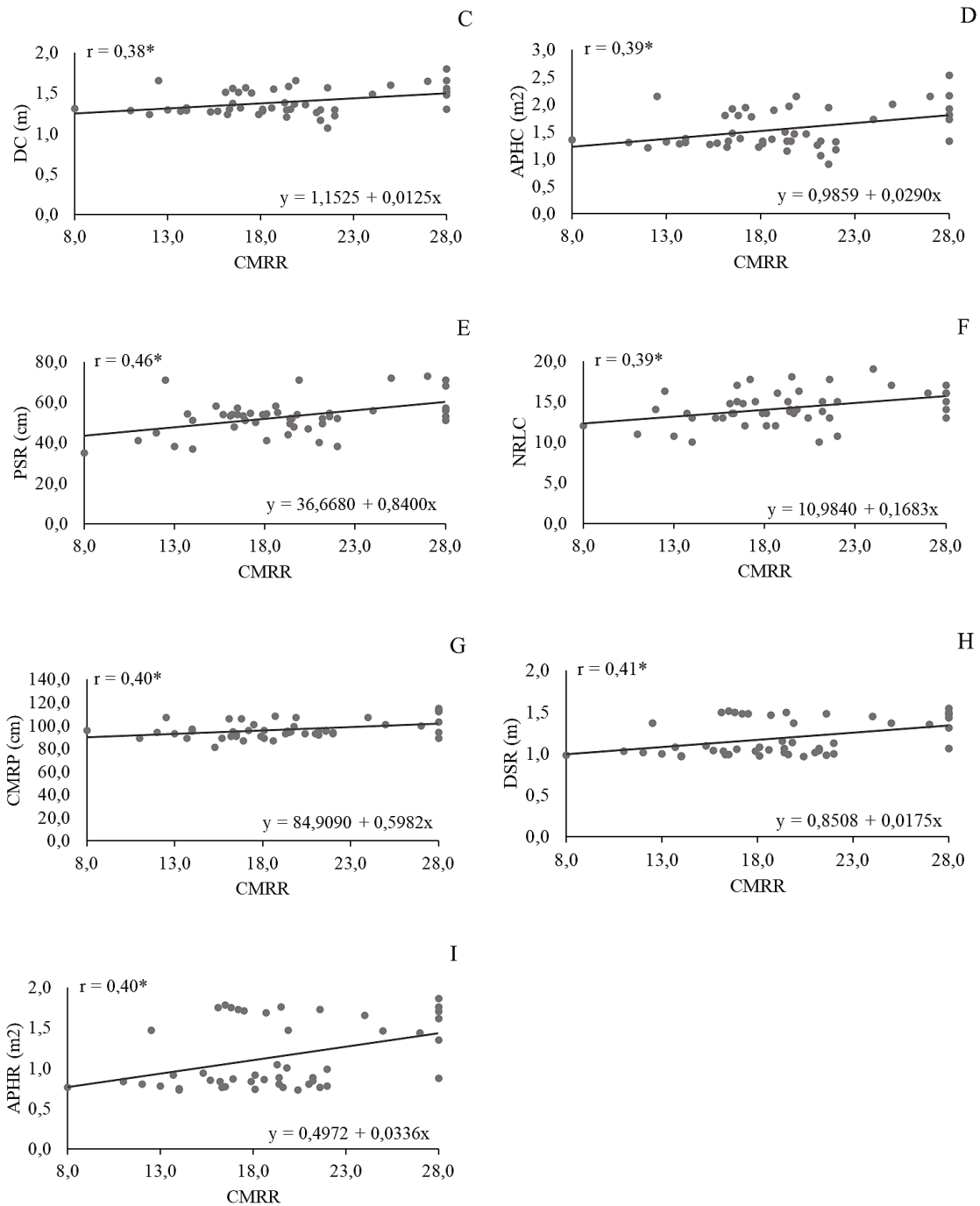
  

Idade	DSR (m)		APHR (m <sup>2</sup> )	
	56 cm <sup>3</sup>	77 cm <sup>3</sup>	56 cm <sup>3</sup>	77 cm <sup>3</sup>
5	99,77aB	103,35aC	0,78aB	0,84aC
7	98,70bB	108,10aC	0,76bB	0,92aC
9	105,85bB	148,25aA	0,88bB	1,73aA
11	149,42aA	136,55bB	1,75aA	1,47bB

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). DCC: diâmetro de coleta em campo; DC: diâmetro de copa; APHC: área de projeção horizontal da copa; PSR: profundidade do sistema radicial; NRLC: número de raízes laterais em campo; DSR: diâmetro do sistema radicial; APHR: área de projeção horizontal da raiz.

Esse comportamento das plantas oriundas de mudas de menor idade de expedição, foi atribuído ao fato de as mesmas terem apresentado, na fase de viveiro, maior número total de raízes regeneradas (Tabela 8). Esse resultado também é reforçado pela moderada correlação observada entre as variáveis número total de raízes regeneradas e altura e diâmetro do coleto em campo (Figura 12).





**Figura 12** – Correlações de Pearson entre potencial de crescimento de raiz e variáveis morfológicas; e de qualidade de raiz de mudas seminais de *Pinus maximinoi* aos 16 meses após o plantio. \*Significativo pelo teste t ( $p < 0,05$ ). r: coeficiente de correlação de Pearson; NTRR: número total de raízes regeneradas; DCC: diâmetro de coletor em campo; CMRR: comprimento médio de raiz regenerada; DC: diâmetro de copa; APHC: área de projeção horizontal da copa; PSR: profundidade do sistema radicular; NRLC: número de raízes laterais em campo; CMRP: comprimento médio da raiz principal; CMRR: comprimento médio de raízes regeneradas; APHR: área de projeção horizontal das raízes.

Segundo Carneiro (1995), plantas com maiores potenciais de crescimento de raízes tendem a ser mais vigorosas, o que resulta em melhor desempenho inicial no



campo. Contudo, essa relação não pode ser generalizada, pois pode variar de acordo com alguns fatores, como a espécie florestal, as condições de plantio no campo (Reely e Nelson, 2021), dentre outros. Enquanto Novaes et al. (2002) relataram correlações entre o PCR e o desempenho inicial de mudas de *P. taeda* após o plantio, Reely e Nelson (2021) não observaram o mesmo para outras espécies de coníferas, como *Larix occidentalis*, *Pseudotsuga menziesii* e *Abies grandis*.

Conforme as Tabelas 14 e 15, mudas seminais de 9 e 11 meses, produzidas em *Paperpots* de maior volume, apesar de terem obtido melhor crescimento no viveiro, no campo, o maior desenvolvimento foi observado em variáveis relativas à copa e raízes. O diâmetro de copa, obtido de mudas produzidas em paperpot de 56 cm<sup>3</sup>, foi 14,6% maior em mudas expedidas aos 11 meses, quando comparadas às demais idades. Em paperpot de 77 cm<sup>3</sup>, a variação foi ainda mais expressiva entre as maiores e menores médias, 21,4%. Essa tendência foi seguida pela área de projeção horizontal da copa, alcançando, para essas respectivas situações, diferenças de 28,7% e 36,5%.

**Tabela 15** – Médias das variáveis de crescimento da parte aérea e de qualidade de raiz de mudas seminais de *Pinus maximinoi* com efeitos isolados, produzidas em paperpots de 56 e 77 cm<sup>3</sup>, expedidas para o campo aos 5, 7, 9 e 11 meses e avaliadas aos 16 meses após o plantio

Médias para volume de paperpot						
Volume	CMRP (cm)	DMRL (mm)	Dobrac	Espiralc	Estrangc	CDRC (%)
56 cm <sup>3</sup>	97,18 a	8,06 a	2,46 a	0,00 a	2,37 a	37,09 a
77 cm <sup>3</sup>	95,63 a	8,33 a	3,06 a	0,00 a	3,13 a	41,09 a
Médias para idade de expedição para o campo						
Idade	CMRP (cm)	DMRL (mm)	Dobrac	Espiralc	Estrangc	CDRC (%)
5	91,87 b	7,76 b	2,16 a	0,00 a	2,40 a	38,19 a
7	91,75 b	7,74 b	2,79 a	0,00 a	2,82 a	41,73 a
9	95,38 b	8,00 ab	2,96 a	0,00 a	2,79 a	36,97 a
11	106,63 a	9,28 a	3,17 a	0,00 a	2,89 a	39,69 a

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey (p <0,05). CMRP: comprimento médio da raiz principal; DMRL: diâmetro médio de raízes laterais; Dobrac: número de dobras em campo; Espiral: número de espiralamentos em campo; Estrang: número de estrangulamentos em campo; CDRC: coeficiente de deformação radicial em campo.

Para esses dois atributos da parte aérea (altura e diâmetro do coleto), vale ressaltar ainda a influência do volume dos paperpots sobre essas variáveis, pois enquanto as maiores médias tenham sido obtidas apenas em plantas expedidas aos 11 meses em

paperpot de 56 cm<sup>3</sup>, por outro lado, nos paperpots de maior volume, essas condições foram alcançadas por mudas de 9 meses (Tabela 14). Esse resultado é considerado reflexo das melhores condições de crescimento proporcionadas pelos paperpots de maior volume.

Ainda na Tabela 14, para cada idade, um sistema radicial mais profundo das plantas seminais foi observado em 77 cm<sup>3</sup>, sendo, em médias gerais, 19,3% superior às de paperpots de 56 cm<sup>3</sup>. Raízes mais profundas tendem a possuir maior capacidade de absorver água em locais mais profundos do solo (Li et al., 2022), sendo uma característica importante em épocas e ou locais de déficit hídrico. A correlação moderada e positiva encontrada entre o CMRR e a PSR; e fraca, porém positiva, entre CMRR e NRLC, CMRP; DSR e APhR (Figura 14), revelam a importância de se obter mudas de qualidade no viveiro, com elevado potencial de crescimento de raízes.

Plantas oriundas de mudas seminais, aos 16 meses após o plantio, expedidas aos 5, 7, 9 e 11 meses e produzidas em paperpots de 56 cm<sup>3</sup> e 77 cm<sup>3</sup>, não apresentaram diferenças estatísticas para deformações radiciais (Tabela 15) e obtiveram uma porcentagem de deformação média de 39,0%. Esse resultado é menor que o observado por Fanola (2020) para plantas de eucalipto produzidas em paperpot de 115 cm<sup>3</sup> e avaliadas aos 6 meses após o plantio (71,0%). Esses valores de CDR, juntamente com o sistema radicial com raízes bem distribuídas, apesar de não haver diferença estatística nos quadrantes (Tabela 16), potencializa a qualidade das plantas seminais produzidas nas condições do presente estudo.

**Tabela 16** – Médias do número de raízes laterais por quadrante de mudas seminais de *Pinus maximinoi* produzidas em paperpots de 56 e 77 cm<sup>3</sup>, expedidas para o campo aos 5, 7, 9 e 11 meses e avaliadas aos 16 meses após o plantio

Volume (cm <sup>3</sup> )	Quadrante			
	A	B	C	D
56	4,69 a	5,75 a	4,80 a	5,54 a
77	5,67 a	5,84 a	5,80 a	5,37 a
Volume (cm <sup>3</sup> )	Idade (meses)			
	5	7	9	11
56	4,84 a	5,33 a	5,08 a	5,49 a
77	5,37 bc	5,08 c	6,24 a	6,11 ab

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey (p<0,05).

Para plantas oriundas de mudas seminais, obteve-se fortes correlações entre variáveis morfológicas de viveiro e crescimento de copa e de raízes aos 16 meses após o plantio (Tabela 17). Esse resultado torna-se mais importante na medida em que revela o quanto essas variáveis, quantificadas facilmente ainda em viveiro, apresentam condições de predição de desempenhos das plantas em campo.

**Tabela 17** – Coeficientes de Correlação de Pearson entre variáveis morfológicas, de qualidade de raiz em viveiro e crescimento da parte aérea e qualidade de raiz no campo de mudas seminais de *Pinus maximinoi*

	DC	APHC	PSR	NRLC	CMRP	DSR	APHR
ALT	0,83*	0,84*	0,62*	0,83*	0,49*	0,87*	0,86*
DC	0,78*	0,77*	0,59*	0,80*	0,52*	0,86*	0,86*
BSPA	0,82*	0,83*	0,58*	0,83*	0,53*	0,85*	0,85*
BSR	0,88*	0,89*	0,72*	0,78*	0,61*	0,84*	0,82*
IQD	0,87*	0,88*	0,66*	0,81*	0,62*	0,87*	0,86*
VSR	0,87*	0,88*	0,72*	0,76*	0,64*	0,87*	0,85*

\* Significativo pelo teste t ( $p < 0,05$ ). ALT: altura; DC: diâmetro de colo; BSPA: biomassa seca da parte aérea; BSR: biomassa seca da raiz; IQD: Índice de Qualidade de Dickson; VSR: volume do sistema radicial; ALTC: altura em campo; DCC: diâmetro do coleto em campo; DC: diâmetro de copa; APHC: área de projeção horizontal da copa; PSR: profundidade do sistema radicial; NRLC: número de raiz lateral em campo; CMRP: comprimento médio da raiz principal; DSR: diâmetro do sistema radicial; APHR: área de projeção horizontal das raízes.

## 5 CONCLUSÕES

- Os recipientes biodegradáveis, do tipo paperpot com 77 cm<sup>3</sup> de capacidade volumétrica, possibilitaram a produção de mudas de *Pinus maximinoi* com qualidades desejáveis, obtendo o melhor desempenho no campo, após o plantio.
- Mudas de *Pinus maximinoi*, expedidas aos 9 e 11 meses de idade, apresentaram as maiores médias de viveiro e desempenho no campo.
- O potencial de crescimento de raízes, conjugado com outros parâmetros morfológicos de viveiro avaliados no presente estudo, prognosticou com maior eficiência o desempenho inicial de plantas seminais, 16 meses após o plantio.
- As deformações radiciais, do tipo dobra e estrangulamento, persistiram até os 16 meses no campo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguiar, I.B.; Mello, H.A. Influência do recipiente na produção de mudas e no desenvolvimento inicial após o plantio no campo, de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus saligna* Smith. **IPEF**, n. 8, p. 19–40, 1974.

Aguiar, A.V.; Sousa, V.A.; Fritzsos, E.; Pinto Junior, J.E. **Programa de melhoramento de pinus da Embrapa Florestas**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 83 p.

Alfenas, A.C.; Zauza, E.A.V.; Mafia, R.G.; Assis, T.F. **Clonagem e doenças do eucalipto**. 2. ed. Viçosa, Editora UFV, 2009, 500 p.

Amaral, F.H.C.; Nóbrega, J.C.A.; Nóbrega, R.S.A.; Lustosa Filho, J.F.; Amorim, P.N. Growth of *Leucena leucocephala* (Lam.) de Wit favored by organic waste in the Brazilian semiarid region. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 7, p. 612–617, 2016. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n7p612-617>

Andivia, E.; Zuccarini, P.; Grau, B.; Herralde, F.; Villar-Salvador, P.; Savé, R. Rooting big and deep rapidly: the ecological roots of pine species distribution in southern Europe. **Trees**, v. 33, p. 293–303, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00468-018-1777-x>

Auer, C.G.; Santos, A.F. Doenças em eucaliptos destinados a produção de energia no Sul do Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 68, p. 373–379, 2011.

Barreto, C.V.G., Testezlaf, R.; Salvador, C.A. Ascensão capilar de água em substratos de como e de pinus. **Bragantia**, v. 71, n. 3, p. 385–399, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052012005000028>

Bertolani, F.; Vilella Filho, A.; Nicolielo, N.; Simões, J.W.; Brasil, U.M. Influência dos recipientes e dos métodos de semeadura na formação de mudas de *Pinus caribaea* Morlet var. *hondurensis*. **IPEF**, n. 11, p. 71–77, 1975.

Biernaski, F.A.; Nogueira, A.C.; Tambarussi, E.V.; Weber, R.L.M.; Stahl, J. Influência do método de propagação e tipos de recipientes na qualidade de mudas de *Pinus maximinoi* H. E. Moore. **Enciclopédia Biosfera**, v. 14, p. 396–408, 2017. [https://doi.org/10.18677/EnciBio\\_2017B37](https://doi.org/10.18677/EnciBio_2017B37)

Biernaski, F.A. ***Pinus maximinoi* H. E. Moore: melhoramento genético, maturação de sementes, métodos de propagação e tipos de recipientes**. 2018. 140 p. Tese – (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

Binotto, A.F.; Lúcio, A.D.; Lopes, S.J. Correlations between growth variables and the Dickson Quality Index in forest seedlings. **Cerne**, v. 16, n. 4, p. 457–464, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602010000400005>

Birchler, T.; Rose, R.W.; Royo, M.; Pardos, M. La planta ideal: revision del concepto, parametros definitorios e implementacion practica. **Investigación agraria: Sistemas y recursos forestales**, v. 7, p. 110–121, 1998.

- Bohm, W. **Methods of studying root systems**. Berlin: Springer-Verlag, 1979.
- Caldeira, M.V.W.; Delarmelina, W.M.; Lube, S.G.; Gomes, D.G.; Gonçalves, E.O.; Alves, A.F. Biossólido na composição de substrato para a produção de mudas de *Tectona grandis*. **Floresta**, v. 42, n. 1, p. 77–84, 2012. <http://dx.doi.org/10.5380/ufpr.v42i1.26302>
- Carneiro, J.G.A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: Campos/UENF. UFPR/FUPEF, 1995, 451 p.
- Carneiro, R. L. **Caracterização da capacidade fotossintética e da condutância estomática em árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e de *Pinus taeda* em Itatinga, São Paulo**. 2013. 84 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.
- Chiatante, D.; Iorio, A.; Sarnataro, M.; Scippa, G.S. Improving vigour assessment of pine (*Pinus nigra* Arnold) seedlings before their use in reforestation. **Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology**, v. 136, n. 2, p. 209–216, 2002. <https://doi.org/10.1080/11263500212331351109>
- Coelho, M.U. **Avaliação tecnológica da madeira de *Pinus maximinoi* visando sua utilização industrial na produção de celulose kraft**. 2017. 92 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017.
- Comas, L.H.; Becker, S.R.; Cruz, V.M.V.; Byrne, P.F.; Dierig, D.A. Root traits contributing to plant productivity under drought. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, p. 1–16, 2013. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00442>
- Constantino, V.; Higa, A.R.; Silva, L.D.; Rosa, J.M.C.; Viana, J.J. Efeitos de métodos de produção de mudas e equipes de plantadores no crescimento de *Pinus taeda* Linnaeus. **Scientia Forestalis**, v. 38, n. 87, p. 355–366, 2010.
- Cuesta, B.; Vega, J.; Villar-Salvador, P.; Rey-Benayas, J.M. Root growth dynamics of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) seedlings in relation to shoot elongation, plant size and tissue nitrogen concentration. **Trees**, v. 24, n. 5, p. 899–908, 2010. <https://doi.org/10.1007/s00468-010-0459-0>
- Del Campo, A.D.; Navarro-Cerrillo, R.M.; Hermoso, J.; Ibáñez, A.J. Relationship between root growth potential and field performance in Aleppo pine. **Annals of Forest Science**, v. 64, n. 5, p. 541–548, 2007. <https://doi.org/10.1051/forest:2007031>
- Dickson, A. S.; Leaf, D; Hosner, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forest Chronicle**, v.36, p.10–13, 1960.
- Dvorak, W.S.; Guitierrez, E.A.; Gapare, W.J.; Hodge, G.R.; Osorio, L.F.; Bester, C.; Kikute, P. *Pinus maximinoi*. In: Conservation and testing of tropical and forest tree species by the CAMCORE Cooperative. Raleigh: College of Natural Resources, North Carolina State University. 2000. p. 106–127.
- Ehlers, T.; Arruda, G.O.S.F. Efeitos do pó de rocha basáltica adicionado em substratos

para mudas de *Pinus elliottii*. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 13, n. 3, p.310–317, 2014.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Classificação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília: Embrapa, 2017. 575 p.

Espinoza, S.E.; Yañez, M.A.; Magni, C.R.; Santelices, R.E. Cabrera, A.M. Outplanting performance of three provenances of *Quillaja saponaria* Mol. established in a Mediterranean drought-prone site and grown in different container size. **iForest - Biogeosciences and Forestry**, v. 13, n. 1, p. 33–40, 2020.  
<https://doi.org/10.3832/ifor3142-012>

Ettori, L.C.; Sato, A.S.; Shimizu, J.Y. Variação genética em procedências e progênes mexicanas de *Pinus maximinoi*. **Revista do Instituto Florestal**, v. 16, n. 1, p. 1–9, 2004.

Fanola, H.C.B.L. **Desempenho de plantas em povoamentos e qualidade de mudas de eucalipto produzidas em diferentes recipientes e idades**. 2020. 87 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2020.

Figueiredo, F.A.M.M.A.; Carneiro, J.G.A.; Penchel, R.M.; Campostrini, E.; Thiebaut, J.T.L.; Barroso, D.G. Condutividade hidráulica de raiz e capacidade fotossintética de mudas clonais de eucalipto com indução de deformações radiculares. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 2, p. 277–287, 2014. <https://doi.org/10.5902/1980509814566>

Figueiredo, F.A.M.M.A.; Carneiro, J.G.A.; Penchel, R.M.; Thiebaut, J.T.L.; Abad, J.I.M.; Barroso, D.G.; Ferraz, T.M. Correlations between eucalyptus clonal cutting quality and performance after planting. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 4, 2019.  
<https://doi.org/10.1590/2179-8087.016316>

Figuerêdo, K.S.; Silva, R.B.; Dias, M.A.R.; Freitas, G.A.; Ribeiro, M.M.C.; Melo, A.V. Addition of rice hulls in different substrates to *Eucalyptus globulus* seedlings production. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 5, n. 1, p. 71–78, 2014.  
<https://doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v5n1.figueredo>

Fier, I.S.N. **Variação genética e métodos de melhoramento para *Pinus maximinoi* H. E. Moore em Telêmaco Borba (PR)**. 2001. 56 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

Fonseca, E.P.; Valéri, S.V.; Miglioranza, E.; Fonseca, N.A.N.; Couto, L. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micranta* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **Revista Árvore**, v. 26, n. 4, p. 515–523, 2002.  
<https://doi.org/10.1590/S0100-67622002000400015>

Freitas, T.A.S.; Barroso, D.G.; Penchel, R.M.; Lamônica, K.R.; Ferreira, D.A. Desempenho radicular de mudas de eucalipto produzidas em diferentes recipientes e substratos. **Revista Árvore**, v. 29, n. 6, p. 853–861, 2005.  
<https://doi.org/10.1590/S0100-67622005000600003>

- Freitas, T.A.S.; Silva, P.S.P.; Peixinho, J.B.; Mendonça, A.V.R.; Santos, L.B. Performance of tamboril seedlings produced in three different tube volumes. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 4, e20150214, 2018. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.021415>
- Fritzsos, E.; Aguiar, A.V.; Grabias, J.; Freitas, M.L.M.; Wregw, M.S.; Mantovani, L.E. Zoneamento climático para plantio experimental de *Pinus maximinoi* no Estado de São Paulo. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 69, p. 79–92, 2012.
- Fuente, L.M.; Ovalle, J.F.; Arellano, E.C.; Ginocchio, R. Use of alternative containers for promoting deep rooting of native forest species used for dryland restoration: the case of *Acacia caven*. **iForest: Biogeosciences and Forestry**, v. 10, p. 776–782, 2018. <https://doi.org/10.3832/for2101-010>
- Gabira, M.M.; Walter, L.S.; Brito, G.S.; Schneider, C.R.; Wendling, I.; Kratz, D. Alternative substrates and containers for *Ilex paraguariensis* seedlings production. **Acta Iguazu**, v. 9, n. 3, p. 78–87, 2020. <https://doi.org/10.48075/actaiguaz.v9i4.25492>
- Gallegos, J.; Álvaro, J.E.; Urrestarazu, M. Container Design Affects Shoot and Root Growth of Vegetable Plant. **Hortscience**, v. 55, n. 6, p. 787–794, 2020. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14954-20>
- Gilman, E.F.; Paz, M.; Meador, D.; Fisher, P. Propagation container type, time in container and root pruning affect root development of young *Acer rubrum*. **Journal of Environmental Horticulture**, v. 30, n. 3, p. 150–160, 2012. <https://doi.org/10.24266/0738-2898.30.3.150>
- Gomes, J.M. **Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*, produzidas em diferentes tamanhos de tubete e de dosagens de N-P-K**. 2001. 126 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.
- Gomes, J.M.; Couto, L.; Borges, R.C.G.; Fonseca, E.P. Efeito de diferentes substratos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, em “Win-Strip”. **Revista Árvore**, v. 15, n. 1, p. 35–42, 1991.
- Gomes, J.M.; Paiva, H.N. **Viveiros florestais: propagação sexuada** (Série Didática). Viçosa, Editora UFV, 2013, 116 p.
- Gonçalves, J.L.M.; Santarelli, E.G.; Moraes Neto, S.P.; Manara, M.P. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: Gonçalves, J.L.M.; Benedetti, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000, p. 309–350.
- Grossnickle, S.C. Importance of root growth in overcoming planting stress. **New Forests**, v. 30, p. 273–294, 2005. <https://doi.org/10.1007/s11056-004-8303-2>
- Grossnickle, S.C.; MacDonald, J. Seedling quality: history, application, and plant attributes. **Forests**, v. 9, n. 5, p. 283, 2018. <https://doi.org/10.3390/f9050283>
- Grossnickle, S.C. Why seedlings survive: influence of plant attributes. **New Forests**, v.



43, n. 5/6, p. 711–738, 2012. <https://doi.org/10.1007/s11056-012-9336-6>

Gruffman, L.; Ishida, T.; Norsin, A.; Nasholom, T. Cultivation of spruce and Scots pine on organic nitrogen improves seedling morphology and field performance. **Frest Ecology and Management**, v. 276, p. 118–124, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.03.030>

Hankin, S.; Watson, G. Oak taproot growth disruption differentially impacts root architecture during nursery production. **Forests**, v. 11, n. 8, 2020. <https://doi.org/10.3390/f11080798>

Hanslin, H.M.; Fløistad, I.S.; Hovstad, K.A.; Sæbø, A. Field establishment of *Abies stocktypes* in Christmas tree plantations. **Scandinavian Journal of Forest Research**, p. 1–11, 2020. <https://doi.org/10.1080/02827581.2020.1801832>

Haywood, J.D.; Sung, S.J.S.; Sayer, M.A.S. Copper root pruning and container cavity size influence longleaf pine growth through five growing seasons. **Southern Journal of Applied Forestry**, v. 36, n. 3, p. 146–151, 2012. <https://doi.org/10.5849/sjaf.10-051>

Hodge, G.R.; Dvorak, W.S. Growth potential and genetic parameters of four Mesoamerican pines planted in the Southern Hemisphere. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, v. 74, n. 1, p. 27–49, 2012. <https://doi.org/10.2989/20702620.2012.686192>

Iatauro, R.A. **Avaliação energética e econômica da substituição de tubetes de plástico por tubetes biodegradáveis na produção de mudas de aroeira – *Schinus terebinthifolius* Raddi**. 2004. 73 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2004.

IBA. Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório IBÁ 2021 ano base 2020**. Brasília: 2021. 93 p. (Relatório Técnico). Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2021-compactado.pdf>

INB. Instituto Nacional de Bosques. **Dinámica de crecimiento y productividad de 28 especies forestales en plantaciones en Guatemala**. Serie Técnica. Guatemala: 2015

Ivetić, V.; Devetaković, J.; Maksimović, Z. Initial height and diameter are equally related to survival and growth of hardwood seedlings in first year after field planting. **Reforesta**, v. 2, p. 6–21, 2016. <http://dx.doi.org/10.21750/REFOR.2.02.17>

Ivetić, V.; Devetaković, J.; Nonić, M.; Stanković, D.; Šijačić-Nikolić, M. Genetic diversity and forest reproductive material - from seed source selection to planting. **iForest - Biogeosciences and Forestry**, v. 9, n. 5, p. 801–812, 2016. <https://doi.org/10.3832/ifor1577-009>

Ivetić, V.; Grossnickle, S.C.; Škoric, M. Forecasting the field performance of Austrian pine seedlings using morphological attributes. **iForest**, v. 10, p. 99–107, 2017. <https://doi.org/10.3832/ifor1722-009>

Iwakiri, S.; Manhiça, A.A.; Ramirez, M.G.L.; Matos, J.L.M.; Bonduelle, G.M.; Prata,

- J.G. Avaliação da qualidade de peineis compensados de *Pinus maximinoi*, *Pinus oocarpa* e *Pinus tecunumannii* com diferentes composições estruturais. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 2, p. 315–321, 2012. <https://doi.org/10.5902/198050985738>
- Iwakiri, S.; Trianoski, R.; Fonte, A.P.N.; Cezimbra, D.J.; Fomin, I.M.; Molleken, R. Potencial de uso de espécies de pinus tropicais para produção de painéis cimento-madeira. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 113, p. 151–159, 2017. <https://doi.org/10.18671/scifor.v45n113.15>
- Klock, U.; Andrade, A.S.; Bittencourt, E.; Mocelin, E.Z.; Crepaldi, C. Propriedades do papel kraft a partir da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Moore e *Pinus taeda* L. **Revista Floresta**, v. 34, n. 1, p. 22–44, 2004. <http://dx.doi.org/10.5380/rev.v34i1.2373>
- Kolevska, D.D.; Trajkov, P. Quality and development of containerized seedlings and stands of austrian black pine (*Pinus nigra* Arn.) in the Republic of Macedonia (FYROM). **Forestry Ideas**, v. 18, n. 1, p. 19–27, 2012.
- Kondo, Y.R.; Primom, A. P.; Fiorenze, A.C.C.L.; Cruz, S. P. Growth promotion of genetically improved *Pinus taeda* seedlings by inoculation with species of *Bacillus*. **Cerne**, v. 26, n. 4, p. 456–462, 2020. <https://doi.org/10.1590/01047760202026042757>.
- Kostopoulou P.; Radoglou, K.; Dini-Papanastasi, O.; Adamidou, C. Effect of mini-plug container depth on root and shoot growth of four forest tree species during early developmental stages. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 35, p. 379–390, 2011. <https://doi.org/10.3906/tar-1104-11>
- Li, B.; Zhang, X.; Morita, S.; Sekiya, N.; Araki, H.; Gu, H.; Han, J.; Lu, Y.; Liu, X. Are crop deep roots always beneficial for combating drought: A review of root structure and function, regulation and phenotyping. **Agricultural Water Management**, v. 271, n. 1, 107781, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107781>
- Li, G.L.; Liu, Y.; Zhu, Y.; Yang, J.; Sun, H.Y.; Jia, Z.K.; Ma, L.Y. Influence of initial age and size on the field performance of *Larix olgensis* seedlings. **New For**, v. 42, p. 215–226, 2011. <https://doi.org/10.1007/s11056-011-9248-x>
- Lima, J.D.; Silva, B.M.S.; Moraes, W.S.; Dantas, V.A.V.; Almeida, C.C. Efeitos da luminosidade no crescimento de mudas de *Caesalpinia ferrea* Mart. ex Tul. (Leguminosae, Caesalpinoideae). **Acta Amazonica**, v. 38, n. 1, p. 5–10, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672008000100002>
- Malan, F.S. The wood properties and sawn-board quality of South African-grown *Pinus maximinoi* (HE Moore). **Southern African Forestry Journal**, n. 208, 2006. <https://doi.org/10.2989/10295920609505260>
- MarchiorI, J.N.C. **Dendrologia das gimnospermas**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1996.
- Matos, P.S.; Oliveira, J.C.; Medeiros, W.P.; Novaes, A.B. Roots characteristics and effects of containers on the quality of *Toona ciliata* M. roemer seedlings. **Floresta**, v. 52, n. 2, p. 359–366, 2022. <http://dx.doi:10.5380/rev.v52 i2. 81218>

Mello, A.C.G. **Efeito de recipientes e substratos no comportamento silvicultural de plantas de *Eucalyptus grandis* Hull ex Maiden e do *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake.** 1989. 80 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

Mendes, L.M.; Iwakiri, S.; Matos, J.L.M.; Keinert Júnior, S.; Saldanha, L.K. *Pinus* spp. na produção de partículas orientadas (OSB). **Ciência Florestal**, v. 12, n. 2, p. 135–145, 2002. <https://doi.org/10.5902/198050981688>

Mendonça, A.V.R.; Ribeiro, L.G.; Assunção, J.R.A.; Freitas, T.A.S.; Souza, J.S. Recipiente de fibras de *Attalea funifera* para produção de mudas de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 87, p. 245–252, 2016. <http://dx.doi.org/10.4336/2016.pfb.36.87.1186>

Mitchell, R.G.; Wingfield, M.J.; Hodge, G.R.; Dvorak, W.S.; Coutinho, T.A. Susceptibility of provenances and families of *Pinus maximinoi* and *Pinus tecunumanii* to frost in South Africa. **New Forests**, v. 44, n. 1, p. 135–146, 2012. doi:10.1007/s11056-012-9306-z

Novaes, A.B. **Avaliação morfofisiológica da qualidade de mudas de *Pinus taeda* L. produzidas em raiz nua e em diferentes tipos de recipientes.** 1998. 133 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

Novaes, A.B.; Carneiro, J.G.A.; Barroso, D.G.; Leles, P.S.S. Avaliação do potencial de regeneração de raízes de mudas de *Pinus taeda* L., produzidas em diferentes tipos de recipientes, e o seu desempenho no campo. **Revista Árvore**, v. 26, n. 6, p. 675–681, 2002.

Oliet, J.A.; Planelles, R.; Artero, F.; Valverde, R.; Jacobs, D.F.; Segura, M.L. Field performance of *Pinus halepensis* planted in Mediterranean arid conditions: relative influence of seedling morphology and mineral nutrition. **New Forests**, v. 37, n. 3, p. 313–331, 2009. <https://doi.org/10.1007/s11056-008-9126-3>

Oliet, J.A.; Salazar, J.M.; Villar, R.; Robredo, E.; Valladares, F. Fall fertilization of Holm oak affects N and P dynamics, root growth potential, and post-planting phenology and growth. **Annals of Forest Science**, v. 68, n. 3, p. 647–656, 2011. <https://doi.org/10.1007/s13595-011-0060-8>

Oliveira, J.C. **Qualidade de mudas de angico-vermelho produzidas em diferentes substratos e seu desempenho no campo.** 2017. 81 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2017.

Pardos, M.; Royo, A.; Gil, L.; Pardos, J.A. Effect of nursery location and outplanting date on field performance of *Pinus halepensis* and *Quercus ilex* seedlings. **Forestry**, v. 76, n. 1, p. 67–81, 2003. <https://doi.org/10.1093/forestry/76.1.67>

Pérez, J.F.; Palaez-Samaniego, R.; Garcia-Perez, M. Torrefaction of fast-growing Colombian wood species. **Wast and Biomass Valorization**, p. 1–13, 2017.

<https://doi.org/10.1007/s12649-017-0164-y>

Pezzutti, R.V.; Caldato, S.L. Sobrevivência e crescimento inicial de mudas de *Pinus taeda* L. com diferentes diâmetros do colo. **Revista Ciência Florestal**, v. 21, n. 2, p. 355–367, 2011. <https://doi.org/10.5902/198050983240>

Pinchot, C.C.; Hall, T.J.; Saxton, A.M.; Scharlarbaum, S.E.; Bailey, J.K. Effects of seedling quality and family on performance of northern red oak seedlings on a Xeric Upland site. **Forests**, v. 9, n. 6, p. 351, 2018. <https://doi.org/10.3390/f9060351>

Prata, J.G. **Estudo da viabilidade tecnológica do uso de espécies de pinus tropicais para produção de painéis colados lateralmente (Edge Glued Panels – EGP)**. 2010. 117 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

Puértolas, J.; JACOBS, D.F.; BENITO, L.F.; PEÑUELAS, J.L. Cost-benefit analysis of different container capacities and fertilization regimes in *Pinus* stock-type production for forest restoration in dry Mediterranean areas. **Ecological Engineering**, v. 44, p. 210–215, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.04.005>

Reely, J.A.; Nelson, A.S. Root growth potential and microsite effects on conifer seedling establishment in Northern Idaho. **Forests**, v. 12, n. 5, 597, 2021. <https://doi.org/10.3390/f12050597>

Regan, D.J.; Apostol, K.G.; Davis, A.S. Stocktype influences western white pine seedling size 6 years after outplanting. **Tree Planters Notes**, v. 58, n. 1, p. 37–41, 2015.

Reis, E.R.; Lúcio, A.D.; Binotto, A.F.; Lopes, S.J. Variabilidade dos parâmetros morfológicos em mudas de *Pinus elliottii* Engelm. **Cerne**, v. 14, n. 2, p. 141–146, 2008.

Reis, G.G. **Análise de crescimento das plantas: mensuração do crescimento**. Programa Cooperativo para el Desarrollo de los Trópicos Americanos. Belém, 1978.

Restrepo-Llano, M.; Osorio-Veja, N.; Lenón-Peláez, J. Plant growth response of *Pinus patula* and *P. maximinoi* seedlings at nursery to three types of ectomycorrhizal inocula. **Applied and Environmental Soil Science**, p. 1–17, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/6027351>

Rodríguez-Larramendi, L.A.; Guevara-Hernández, F.; Reys-Muro, L.; Ovando-Cruz, J.; Nahed-Toral, J.; Prado-López, N.; Saldaña, R.A.C. Estimación de biomasa y carbono almacenado en bosques comunitarios de la región Frailesca de Chiapas, México. **Revista Mexicana de Ciencias Forestales**, v. 7, n. 37, p. 77–94, 2016.

Salisu, M.; Sulaiman, Z.; Samad, M. Y. A.; Kolapo, O. K. Effect of various types and size of container on growth and root morphology of rubber (*Hevea brasiliensis* Mull. Arg.). **International Journal of Scientific & Technology Research**, v. 7, n. 6, 2018.

Santos, C.S.; Dalmolin, A.C.; Schilling, A.C.; Santos, M.S.; Schafferd, B.; Mielkea, M.S. Root deformation affects mineral nutrition but not leaf gas exchange and growth of *Genipa americana* seedlings during the recovery phase after soil flooding. **Brazilian**

**Journal of Biology**, v. 82, e234018, 2022. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.234018>

Santos, W.; Silva, M.S.C.; Deniz, L.D.; Kieras, W.S.; Shimizu, J.Y.; Sousam V.A.; Aguiar, A.V. Identificação de procedências de progênes de *Pinus maximinoi* com potencial produtivo para madeira. **Scientia Forestalis**, v. 46, n. 117, p. 127–136, 2018. <https://doi.org/10.18671/scifor.v46n117.12>

Serpa, M.F.P.; Cairo, P.A.R.; Lacerda, J.J.; Novaes, A.B. Root system growth and eucalyptus clones performance in Vitória da Conquista, Bahia, Brazil. **Nativa**, v. 5, n. 6, p. 428–433, 2017. <https://doi.org/10.5935/2318-7670.v05n06a08>

Shimizu, J.Y. **Pinus na silvicultura brasileira**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008.

Shi, W.; Grossnickle, S.C.; Li, G.; Su, S.; Liu, Y. Fertilization and irrigation regimes influence on seedling attributes and field performance of *Pinus tabuliformis* Carr. **Forestry: An International Journal of Forest Research**, v. 92, p. 97–107, 2019. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpy035>

Simões, D.; Gil, J.F.S.; Silva, R.B.G.; Munis, R.A.; Silva, M.R. Stochastic economic analysis of investment projects in forest restoration involving containerized tree seedlings in Brazil. **Forests**, v. 12, n. 10, 1381, 2021. <https://doi.org/10.3390/f12101381>

Simpson, D.G.; Ritchie, G.A. Does RGP predict field performance? A debate. **New Forests**, v. 13, p. 249–273, 1996.

Sousa-Santos, C.; Cerqueira, A.F.; Dalmolin, A.C.; Almeida, A.A.; Santos, M.S.; Avelino, N.R.; Santos, R.B.; Souza Júnior, J.O.; Mielke, M.S. Morphophysiological changes in *Genipa americana* seedlings in response to root deformation and substrate attributes. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 22, p. 2755–2764, 2022. <https://doi.org/10.1007/s42729-022-00842-8>

South, D.B.; Harris, S.W.; Barnett, J.P.; Hains, M.J.; Gjerstad, D.H. 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**, v. 204, n. 2-3, p. 385–398, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.09.016>

Suardi Junior, L.M.M. **Avaliação da qualidade da madeira de cinco espécies de pinus destinadas a produção de celulose**. 2016. 66 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2016.

Sudrajat, D.J.; Yulianti, Y.; Rustam, E.; Suwandhi, I. Genetic diversity in the growth of white jabon (*Neolamarckia cadamba*) provenance-progeny test: Comparing study in the nursery and field. **Biodiversita**, v. 20, n. 5, p. 1325–1332, 2019. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d200512>

Sutton, R.F.; Tinus, R.W. **Root and root system terminology**. Washington: Society of American Foresters, 1983.

Trazzi, P.A.; Santos, J.A.; Dobner Júnior, M.; Higa, A.R.; Roters, D.F.; Caldeira,

M.V.W. A qualidade morfológica de mudas de *Pinus taeda* afeta o seu crescimento em campo no longo prazo? **Scientia Forestalis**, v. 48, n. 127, e3052, 2020. <https://doi.org/10.18671/scifor.v48n127.04>

Trazzi, P.A.; **Uso do biocarvão na produção de mudas e no crescimento inicial de *Pinus taeda* L.** 2014. 119 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014

Tsakalidimi, M.; Ganatsas, P.; Jacobs, D.F. Prediction of planted seedling survival of five Mediterranean species based on initial seedling morphology. **New Forests**, v. 44, p. 327–339, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11056-012-9339-3>

Wakeley, P.C. Nursery practice. In: **Planting the southern pines**. Washington: Forest Service, 1954. p. 68–119.

Walter, L.S.; Moura, M.; Gabira, M.M.; Aguiar, N.S.; Stuepp, C.A.; Kratz, D. How shading and container type influence *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. seedling production. **Forest Science**, v. 68, n. 5-6, p. 533–539, 2022. <https://doi.org/10.1093/forsci/xfac036>

Wright, J.A.; Baylis, B. Volume, pulp and paper-making traits of *Pinus maximinoi* provenances planted at two sites in South Africa. **Suid-Afrikaanse**, n. 165, p. 37–40, 1993.

York, L.; Lobet, G. Phenomics of root system architecture: measuring and analyzing root phenes. **The Plant Cell**, v. 29, n. 9, 2017. <https://doi.org/10.1105/tpc.117.tt0917>

Zagas, T.; Ganatsas, P.; Tsitsoni, T.; Tsakalidimi, M. Post-fire regeneration of *Pinus halepensis* Mill. stands in the Sithonia peninsula, northern Greece. **Plant Ecology**, v. 171, p. 91–99, 2004. <https://doi.org/10.1023/B:vege.0000029386.12582.1e>

Zida, D.; Tigabu, M.; Sawadogo, L.; Odén, P.C. Initial seedling morphological characteristics and field performance of two Sudanian savanna species in relation to nursery production period and watering regimes. **Forest Ecology and Management**, v. 255, n. 7, p. 2151–2162, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.12.029>

## APÊNDICES

**Tabela 1** – Resumo da análise de variância das variáveis morfológicas e de qualidade de raiz de mudas clonais produzidas em *Paperpots* de 56 e 77 cm<sup>3</sup> e após 5, 7, 9 e 11 meses após semeadura

FV	GL	Quadrados Médios					
		Altura (cm)	Diâmetro (mm)	BFPA (g)	BFR (g)	BFT (g)	BSPA (g)
Volume (V)	1	3,00*	0,52*	4,39*	0,65*	5,08*	1,61*
Erro 1	6	0,002	0,009	0,204	0,020	0,224	0,035
Idade (I)	3	10,69*	0,40*	11,04*	1,82*	12,78*	4,65*
V x I	3	0,84*	0,01 <sup>NS</sup>	1,03*	0,18*	1,20*	0,36*
Erro 2	15	0,047	0,012	0,009	0,004	0,009	0,018
CV <sub>1</sub> (%)	-	2,47	4,31	17,32	16,75	17,24	10,84
CV <sub>2</sub> (%)	-	5,42	4,92	3,76	7,67	3,54	7,76

FV	GL	Quadrados Médios					
		BSR (g)	BST (g)	H/D	BSPA/BSR	IQD	VSR (cm <sup>3</sup> )
Volume (V)	1	0,65*	2,28*	0,48*	0,54 <sup>NS</sup>	0,14*	1,49*
Erro 1	6	0,046	0,056	0,009	0,204	0,009	0,038
Idade (I)	3	0,92*	5,46*	3,26*	0,88*	0,27*	1,64*
V x I	3	0,07 <sup>NS</sup>	0,38*	0,28*	0,07 <sup>NS</sup>	0,01 <sup>NS</sup>	0,25*
Erro 2	15	0,557	0,026	0,012	0,257	0,006	0,006
CV <sub>1</sub> (%)	-	31,16	12,75	3,75	16,53	19,9	19,99
CV <sub>2</sub> (%)	-	28,01	8,65	4,21	18,57	16,58	8,11

FV	GL	Quadrados Médios					
		NRLP	NRFA	Dobra	Espiral	Estrang	CDR (%)
Volume (V)	1	2,59 <sup>NS</sup>	0,27 <sup>NS</sup>	0,13 <sup>NS</sup>	0,00 <sup>NS</sup>	0,23 <sup>NS</sup>	0,99 <sup>NS</sup>
Erro 1	6	0,535	0,108	0,032	0,000	0,121	1,365

Idade (I)	3	0,02 <sup>NS</sup>	0,01 <sup>NS</sup>	0,25*	0,00 <sup>NS</sup>	0,09 <sup>NS</sup>	7,86*
V x I	3	0,14 <sup>NS</sup>	0,05 <sup>NS</sup>	0,02 <sup>NS</sup>	0,00 <sup>NS</sup>	0,09 <sup>NS</sup>	0,68 <sup>NS</sup>
Erro 2	15	0,172	0,021	0,057	0,000	0,047	1,835
CV <sub>1</sub> (%)	-	18,54	19,56	13,52	0,00	40,51	14,49
CV <sub>2</sub> (%)	-	10,52	8,62	17,92	0,00	25,20	16,80

\* Significativo pelo teste F (p<0,05). <sup>NS</sup> Não significativo pelo teste F (p<0,05). CV<sub>1</sub>: Coeficiente de Variação da parcela; CV<sub>2</sub>: Coeficiente de Variação da subparcela. BFPA: Biomassa Fresca da Parte Aérea; BFR: Biomassa Fresca da Raiz; BFT: Biomassa Fresca Total; BSPA: Biomassa Seca da Parte Aérea; BSR: Biomassa Seca da Raiz; BST: Biomassa Seca Total; H/D: Relação Altura/Diâmetro; BSPA/BSR: Relação Biomassa Seca da Parte Aérea/Biomassa Seca da Raiz; IQD: Índice de Qualidade de Dickson; VSR: Volume do Sistema Radicial; NRL: Número de Raiz Lateral; NRFA: Número de Raízes Fisiologicamente Ativas; Espiral: Espiralamento; Estrang: Estrangulamento; CDR: Coeficiente de Deformação Radicial.



**Tabela 2** – Resumo da análise de variância das variáveis morfológicas e de qualidade de raiz de mudas seminais produzidas em *Paperpots* de 56 e 77 cm<sup>3</sup> e após 5, 7, 9 e 11 meses após semeadura

FV	GL	Quadrados Médios					
		Altura (cm)	Diâmetro (mm)	BFPA (g)	BFR (g)	BFT (g)	BSPA (g)
Volume (V)	1	459,80*	9,94*	573,84*	6,15*	699,01*	63,56*
Erro 1	6	0,597	0,116	4,883	0,062	5,379	0,187
Idade (I)	3	583,09*	21,06*	528,93*	12,73*	694,23*	84,69*
V x I	3	122,41*	1,67*	183,61*	1,99*	223,30*	24,92*
Erro 2	15	1,09	0,161	0,044	0,059	0,176	0,219
CV <sub>1</sub> (%)	-	3,55	8,29	20,72	16,99	19,13	10,10
CV <sub>2</sub> (%)	-	4,80	9,78	1,97	16,72	3,46	10,83

FV	GL	Quadrados Médios					
		BSR (g)	BST (g)	H/D	BSPA/BSR	IQD	VSR (cm <sup>3</sup> )
Volume (V)	1	2,23*	89,58*	0,26 <sup>NS</sup>	0,21 <sup>NS</sup>	0,60*	0,89*
Erro 1	6	0,022	0,173	0,209	1,083	0,007	0,008
Idade (I)	3	2,99*	117,78*	0,28 <sup>NS</sup>	8,97*	0,99*	2,41*
V x I	3	0,48*	31,67*	2,40*	2,95*	0,15*	0,23*
Erro 2	15	0,009	0,178	0,235	0,537	0,002	0,005
CV <sub>1</sub> (%)	-	17,47	8,03	8,59	20,95	16,75	7,46
CV <sub>2</sub> (%)	-	11,43	8,16	9,11	14,75	10,39	5,93

FV	GL	Quadrados Médios					
		NRLP	NRFA	Dobra	Espiral	Estrang	CDR (%)
Volume (V)	1	13,00*	0,15 <sup>NS</sup>	5,04*	0,00 <sup>NS</sup>	0,06 <sup>NS</sup>	302,52 <sup>NS</sup>
Erro 1	6	0,688	1,11	0,125	0,000	0,024	66,495
Idade (I)	3	4,60*	0,07 <sup>NS</sup>	7,10*	0,00 <sup>NS</sup>	0,31*	2080,75*
V x I	3	1,81 <sup>NS</sup>	0,01 <sup>NS</sup>	3,06*	0,00 <sup>NS</sup>	0,07*	386,49*
Erro 2	15	1,391	0,282	0,094	0,000	0,009	48,414
CV <sub>1</sub> (%)	-	9,16	34,33	14,82	0,00	13,31	19,13

CV <sub>2</sub> (%)	-	13,02	17,30	12,91	0,00	8,12	16,32
---------------------	---	-------	-------	-------	------	------	-------

\* Significativo pelo teste F (p<0,05). <sup>NS</sup> Não significativo pelo teste F (p<0,05). CV<sub>1</sub>: Coeficiente de Variação da parcela; CV<sub>2</sub>: Coeficiente de Variação da subparcela. BFPA: Biomassa Fresca da Parte Aérea; BFR: Biomassa Fresca da Raiz; BFT: Biomassa Fresca Total; BSPA: Biomassa Seca da Parte Aérea; BSR: Biomassa Seca da Raiz; BST: Biomassa Seca Total; H/D: Relação Altura/Diâmetro; BSPA/BSR: Relação Biomassa Seca da Parte Aérea/Biomassa Seca da Raiz; IQD: Índice de Qualidade de Dickson; VSR: Volume do Sistema Radicial; NRL: Número de Raiz Lateral; NRFA: Número de Raízes Fisiologicamente Ativas; Espiral: Espiralamento; Estrang: Estrangulamento; CDR: Coeficiente de Deformação Radicial.

**Tabela 3** – Resumo da análise de variância do número de raízes regeneradas por quadrante e número de raízes regeneradas por porção em mudas clonais de 5, 7, 9 e 11 meses, produzidas em *Paperpots* de 56 e 77 cm<sup>3</sup> e avaliadas quanto ao potencial de crescimento de raízes em tubos, aos 45 dias após o transplântio

Análise de variância para <i>Paperpot</i> de 56 cm <sup>3</sup>					
FV	GL	QM NRRQ	FV	GL	QM NRRP
Quadrante (Q)	3	0,10 <sup>NS</sup>	Porção (P)	1	3,84 <sup>NS</sup>
Erro 1	20	0,387	Erro 1	10	0,948
Idade (I)	3	1,97*	Idade (I)	3	2,24*
Q x I	9	0,33 <sup>NS</sup>	P x I	3	0,01 <sup>NS</sup>
Erro 2	55	0,299	Erro 2	25	0,461
CV <sub>1</sub> (%)	-	40,71	CV <sub>1</sub> (%)	-	50,85
CV <sub>2</sub> (%)	-	35,81	CV <sub>2</sub> (%)	-	35,44
Análise de variância para <i>Paperpot</i> de 77 cm <sup>3</sup>					
FV	GL	QM NRRQ	FV	GL	QM NRRP
Quadrante (Q)	3	0,68 <sup>NS</sup>	Porção (P)	1	1,69 <sup>NS</sup>
Erro 1	20	0,739	Erro 1	10	1,592
Idade (I)	3	7,00*	Idade (I)	3	8,14*
Q x I	9	0,16 <sup>NS</sup>	P x I	3	0,33 <sup>NS</sup>
Erro 2	55	0,297	Erro 2	25	0,408
CV <sub>1</sub> (%)	-	53,11	CV <sub>1</sub> (%)	-	61,50
CV <sub>2</sub> (%)	-	33,69	CV <sub>2</sub> (%)	-	31,17

\* Significativo pelo teste F (p<0,05). <sup>NS</sup> Não significativo pelo teste F (p<0,05). QM: Quadrado Médio; CV<sub>1</sub>: Coeficiente de Variação da parcela; CV<sub>2</sub>: Coeficiente de Variação da subparcela. NRRQ: Número de Raízes Regeneradas por Quadrante; NRRP: Número de Raízes Regeneradas por Porção.

**Tabela 4** – Resumo da análise de variância do número total de raízes regeneradas e comprimento médio de raízes regeneradas em mudas clonais de 5, 7, 9 e 11 meses, produzidas em *Paperpots* de 56 e 77 cm<sup>3</sup> e avaliadas quanto ao potencial de crescimento de raízes em tubos, aos 45 e em caixas, aos 44 dias após o transplântio

FV	GL	Quadrados Médios	
		NTRR	CMRR (cm)
Volume (V)	1	0,31 <sup>NS</sup>	0,28 <sup>NS</sup>
Erro 1	10	2,841	0,225
Idade (I)	3	10,56*	1,92 <sup>NS</sup>
V x I	3	1,28 <sup>NS</sup>	0,09 <sup>NS</sup>
Erro 2	25	1,219	1,168
CV <sub>1</sub> (%)	-	64,70	11,06
CV <sub>2</sub> (%)	-	42,39	25,20

\* Significativo pelo teste F (p<0,05). <sup>NS</sup> Não significativo pelo teste F (p<0,05). CV<sub>1</sub>: Coeficiente de Variação da parcela; CV<sub>2</sub>: Coeficiente de Variação da subparcela. NTRR: Número Total de Raízes Regeneradas; CMRR: Comprimento Médio de Raízes Regeneradas.

**Tabela 5** – Resumo da análise de variância do número de raízes regeneradas por quadrante e número de raízes regeneradas por porção em mudas seminais de 5, 7, 9 e 11 meses, produzidas em *Paperpots* de 56 e 77 cm<sup>3</sup> e avaliadas quanto ao potencial de crescimento de raízes em tubos, aos 45 dias após o transplântio

Análise de variância para <i>Paperpot</i> de 56 cm <sup>3</sup>					
FV	GL	QM NRRQ	FV	GL	QM NRRP
Quadrante (Q)	3	0,12 <sup>NS</sup>	Porção (P)	1	4,44*
Erro 1	20	0,278	Erro 1	10	0,192
Idade (I)	3	2,69*	Idade (I)	3	26,81*
Q x I	9	0,24 <sup>NS</sup>	P x I	3	0,47 <sup>NS</sup>
Erro 2	55	0,222	Erro 2	25	0,221
CV <sub>1</sub> (%)	-	27,86	CV <sub>1</sub> (%)	-	18,96
CV <sub>2</sub> (%)	-	24,90	CV <sub>2</sub> (%)	-	20,36
Análise de variância para <i>Paperpot</i> de 77 cm <sup>3</sup>					
FV	GL	QM NRRQ	FV	GL	QM NRRP
Quadrante (Q)	3	0,63 <sup>NS</sup>	Porção (P)	1	1,43 <sup>NS</sup>
Erro 1	20	0,227	Erro 1	10	0,592
Idade (I)	3	0,20 <sup>NS</sup>	Idade (I)	3	2,21*
Q x I	9	0,48*	P x I	3	5,14*
Erro 2	55	0,202	Erro 2	25	0,509
CV <sub>1</sub> (%)	-	20,42	CV <sub>1</sub> (%)	-	24,09
CV <sub>2</sub> (%)	-	19,28	CV <sub>2</sub> (%)	-	22,33

\* Significativo pelo teste F (p<0,05). <sup>NS</sup> Não significativo pelo teste F (p<0,05). CV<sub>1</sub>: Coeficiente de Variação da parcela; CV<sub>2</sub>: Coeficiente de Variação da subparcela. NRRQ: Número de Raízes Regeneradas por Quadrante; NRRP: Número de Raízes Regeneradas por Porção.

**Tabela 6** – Resumo da análise de variância do número total de raízes regeneradas e comprimento médio de raízes regeneradas em mudas seminais de 5, 7, 9 e 11 meses, produzidas em *Paperpots* de 56 e 77 cm<sup>3</sup> e avaliadas quanto ao potencial de crescimento de raízes em tubos, aos 45 e em caixas, aos 44 dias após o transplântio

FV	GL	Quadrados Médios	
		NTRR	CMRR (cm)
Volume (V)	1	25,52*	69,84 <sup>NS</sup>
Erro 1	10	1,021	27,019
Idade (I)	3	7,41*	83,48*
V x I	3	24,74*	3,56 <sup>NS</sup>
Erro 2	25	0,597	16,526
CV <sub>1</sub> (%)	-	26,79	27,05
CV <sub>2</sub> (%)	-	20,50	21,15

\* Significativo pelo teste F (p<0,05). <sup>NS</sup> Não significativo pelo teste F (p<0,05). CV<sub>1</sub>: Coeficiente de Variação da parcela; CV<sub>2</sub>: Coeficiente de Variação da subparcela. NTRR: Número Total de Raízes Regeneradas; CMRR: Comprimento Médio de Raízes Regeneradas.

**Tabela 7** – Resumo da análise de variância das variáveis de crescimento da parte aérea e de qualidade de raiz de plantas clonais produzidas em *Paperpots* de 56 e 77 cm<sup>3</sup>, expedidas para o campo aos 5, 7, 9 e 11 meses e avaliadas aos 16 meses após o plantio

FV	GL	Quadrados Médios				
		HC (cm)	DCC (mm)	DC (m)	APHC (cm <sup>2</sup> )	NRLPC
Volume (V)	1	8847,82*	359,45*	0,52*	1,85*	36,12*
Erro 1	3	422,290	23,846	0,002	0,014	2,875
Idade (I)	3	4935,82*	416,05*	0,21*	0,87*	36,04*
V x I	3	363,11 <sup>NS</sup>	18,99 <sup>NS</sup>	0,01*	0,06*	5,21 <sup>NS</sup>
Erro 2	18	990,813	36,335	0,003	0,009	3,708
CV <sub>1</sub> (%)	-	9,84	12,55	3,62	9,71	16,25
CV <sub>2</sub> (%)	-	15,07	15,49	4,53	8,27	18,45

FV	GL	Quadrados Médios				
		PSR (cm)	CMRP (cm)	DSR (m)	APHR (m <sup>2</sup> )	DMRL (mm)
Volume (V)	1	2196,19*	365,85 <sup>NS</sup>	0,00 <sup>NS</sup>	0,01 <sup>NS</sup>	4,26*
Erro 1	3	18,596	69,620	0,014	0,010	0,294
Idade (I)	3	865,75*	1110,88*	0,10*	0,07*	4,33 <sup>NS</sup>
V x I	3	265,47*	115,78 <sup>NS</sup>	0,01 <sup>NS</sup>	0,01 <sup>NS</sup>	0,29 <sup>NS</sup>
Erro 2	18	16,491	52,166	0,023	0,015	2,179
CV <sub>1</sub> (%)	-	8,86	9,36	11,43	10,84	6,07
CV <sub>2</sub> (%)	-	8,32	8,11	14,83	13,60	16,53

FV	GL	Quadrados Médios			
		Dobra	Espiral	Estrang	CDR (%)
Volume (V)	1	0,00 <sup>NS</sup>	0,00 <sup>NS</sup>	1,66*	0,02 <sup>NS</sup>
Erro 1	3	0,066	0,000	0,095	0,354
Idade (I)	3	0,25 <sup>NS</sup>	0,00 <sup>NS</sup>	0,74*	0,63 <sup>NS</sup>
V x I	3	0,06 <sup>NS</sup>	0,00 <sup>NS</sup>	0,08 <sup>NS</sup>	0,93 <sup>NS</sup>
Erro 2	18	0,088	0,000	0,104	0,552
CV <sub>1</sub> (%)	-	17,55	0,00	13,74	9,52

CV <sub>2</sub> (%)	-	20,23	0,00	14,33	11,89
---------------------	---	-------	------	-------	-------

\* Significativo pelo teste F (p<0,05). <sup>NS</sup> Não significativo pelo teste F (p<0,05). CV<sub>1</sub>: Coeficiente de Variação da parcela; CV<sub>2</sub>: Coeficiente de Variação da subparcela. HC: Altura em campo; DCC: Diâmetro do coleto em campo; DC: Diâmetro de Copa; APHC: Área de projeção horizontal da copa; NRLC: Número de raízes laterais no campo; PSR: Profundidade do sistema radicial; CMRP: Comprimento médio da raiz principal; DSR: Diâmetro do sistema radicial; APHR: Área de projeção horizontal das raízes; DMR: Diâmetro médio das raízes; Espiral: Espiralamento; Estrang: Estrangulamento; CDR: Coeficiente de deformação radicial.



**Tabela 8** – Resumo da análise de variância das variáveis de crescimento da parte aérea e de qualidade de raiz de plantas seminais produzidas em *Paperpots* de 56 e 77 cm<sup>3</sup>, expedidas para o campo aos 5, 7, 9 e 11 meses e avaliadas aos 16 meses após o plantio

FV	GL	Quadrados Médios				
		HC (cm)	DCC (mm)	DC (m)	APHC (cm <sup>2</sup> )	NRLPC
Volume (V)	1	7356,84*	253,12*	0,06*	0,33*	34,03*
Erro 1	3	135,138	2,290	0,003	0,011	0,448
Idade (I)	3	17,50,46*	75,44*	0,17*	0,87*	23,70*
V x I	3	1090,47*	46,33*	0,05*	0,23*	5,86*
Erro 2	18	165,911	2,422	0,007	0,035	1,420
CV <sub>1</sub> (%)	-	5,54	3,59	4,16	6,91	4,71
CV <sub>2</sub> (%)	-	6,14	3,69	6,15	12,13	8,38

FV	GL	Quadrados Médios				
		PSR (cm)	CMRP (cm)	DSR (m)	APHR (m <sup>2</sup> )	DMRL (mm)
Volume (V)	1	1012,50*	19,53 <sup>NS</sup>	903,12*	0,29*	0,56 <sup>NS</sup>
Erro 1	3	19,250	50,698	41,017	0,014	2,068
Idade (I)	3	361,04*	393,86*	3166,34*	1,20*	4,29*
V x I	3	82,75*	20,11 <sup>NS</sup>	1075,40*	0,45*	2,07 <sup>NS</sup>
Erro 2	18	9,257	20,962	17,172	0,006	1,131
CV <sub>1</sub> (%)	-	8,31	7,39	5,39	10,37	17,54
CV <sub>2</sub> (%)	-	5,76	4,75	3,49	6,71	12,98

FV	GL	Quadrados Médios			
		Dobra	Espiral	Estrang	CDR (%)
Volume (V)	1	0,25 <sup>NS</sup>	0,00 <sup>NS</sup>	0,42 <sup>NS</sup>	0,77 <sup>NS</sup>
Erro 1	3	0,092	0,000	0,182	1,604
Idade (I)	3	0,14 <sup>NS</sup>	0,00 <sup>NS</sup>	0,04 <sup>NS</sup>	0,20 <sup>NS</sup>
V x I	3	0,10 <sup>NS</sup>	0,00 <sup>NS</sup>	0,03 <sup>NS</sup>	0,19 <sup>NS</sup>
Erro 2	18	0,052	0,000	0,068	0,370
CV <sub>1</sub> (%)	-	18,29	0,00	25,88	20,25
CV <sub>2</sub> (%)	-	13,69	0,00	15,79	9,73

\* Significativo pelo teste F (p<0,05). <sup>NS</sup> Não significativo pelo teste F (p<0,05). CV<sub>1</sub>: Coeficiente de Variação da parcela; CV<sub>2</sub>: Coeficiente de Variação da subparcela. HC: Altura em campo; DCC: Diâmetro do coleto em campo; DC: Diâmetro de Copa; APHC: Área de projeção horizontal da copa; NRLC: Número de raízes laterais no campo; PSR: Profundidade do sistema radicial; CMRP: Comprimento médio da raiz principal; DSR: Diâmetro do sistema radicial; APHR: Área de projeção horizontal das raízes; DMR: Diâmetro médio das raízes; Espiral: Espiralamento; Estrang: Estrangulamento; CDR: Coeficiente de deformação radicial.

**Tabela 9** – Resumo da análise de variância da distribuição horizontal de raízes de plantas clonais e seminais produzidas em *Paperpots* de 56 e 77 cm<sup>3</sup>, expedidas para o campo aos 5, 7, 9 e 11 meses e avaliadas aos 16 meses após o plantio

Número de raízes laterais por quadrante em plantas clonais			
FV	GL	Quadrados Médios	
		<i>Paperpot</i> de 56 cm <sup>3</sup>	<i>Paperpot</i> de 77 cm <sup>3</sup>
Quadrante (Q)	3	0,04 <sup>NS</sup>	0,24 <sup>NS</sup>
Erro 1	9	0,038	0,121
Idade (I)	3	0,34*	0,59*
Q x I	9	0,10 <sup>NS</sup>	0,04 <sup>NS</sup>
Erro 2	36	0,099	0,079
CV <sub>1</sub> (%)	-	10,71	17,97
CV <sub>2</sub> (%)	-	17,24	14,46
Número de raízes laterais por quadrante em plantas seminais			
FV	GL	Quadrados Médios	
		<i>Paperpot</i> de 56 cm <sup>3</sup>	<i>Paperpot</i> de 77 cm <sup>3</sup>
Quadrante (Q)	3	0,27 <sup>NS</sup>	0,04 <sup>NS</sup>
Erro 1	9	0,181	0,017
Idade (I)	3	0,08 <sup>NS</sup>	0,27*
Q x I	9	0,07 <sup>NS</sup>	0,03 <sup>NS</sup>
Erro 2	36	0,106	0,039
CV <sub>1</sub> (%)	-	20,81	6,07
CV <sub>2</sub> (%)	-	15,90	9,22

\* Significativo pelo teste F (p<0,05). <sup>NS</sup> Não significativo pelo teste F (p<0,05). CV<sub>1</sub>: Coeficiente de Variação da parcela; CV<sub>2</sub>: Coeficiente de Variação da subparcela.