

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

Desempenho inicial em campo de clones de *Eucalyptus* em função do tipo e do volume de recipientes com e sem restrição hídrica inicial

Fernando Alexander Delgado Monsalve
Magister Scientiae

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2026**

FERNANDO ALEXANDER DELGADO MONSALVE

Desempenho inicial em campo de clones de *Eucalyptus* em função do tipo e do volume de recipientes com e sem restrição hídrica inicial

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Silvio N. de Oliveira Neto

Coorientadores: Jean Marcel Sousa Lira
Rodolfo S. de Almeida

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

D352d
2026

Delgado Monsalve, Fernando Alexander, 1987-

Desempenho inicial em campo de clones de *Eucalyptus* em função do tipo e do volume de recipientes com e sem restrição hídrica inicial / Fernando Alexander Delgado Monsalve. – Viçosa, MG, 2026.

1 dissertação eletrônica (71 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Sílvio Nolasco de Oliveira Neto.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Florestal, 2026.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2026.307>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Eucalypto. 2. Clonagem. 3. Mudanças - Qualidade.
4. Estresse hídrico. I. Oliveira Neto, Sílvio Nolasco de, 1965-.
II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Florestal. Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal.
III. Título.

GFDC adapt. CDD 22. ed. 634.9165441

FERNANDO ALEXANDER DELGADO MONSALVE

Desempenho inicial em campo de clones de *Eucalyptus* em função do tipo e do volume de recipientes com e sem restrição hídrica inicial

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 27 de fevereiro de 2026.

Assentimento:

Fernando Alexander Delgado Monsalve
Autor

Silvio Nolasco de Oliveira Neto
Orientador

Essa dissertação foi assinada digitalmente pelo autor em 11/06/2026 às 12:02:33 e pelo orientador em 18/06/2026 às 16:17:30. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **AXSY.6XJW.4GLF** e clique no botão 'Validar documento'.

À minha esposa Janeth Pérez e aos meus filhos Steven e Fernando, pelo amor,
compreensão e apoio incondicional durante esta etapa profissional.
À minha irmã Milagros, por acreditar em mim e me acompanhar na minha formação
pessoal e profissional.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por conceder-me a força, a saúde e a perseverança necessárias para a conclusão desta etapa de formação acadêmica.

Expresso meu sincero agradecimento ao Professor Dr. Silvio Nolasco de Oliveira Neto, orientador desta pesquisa, pela orientação acadêmica, pelo rigor científico e pelo acompanhamento constante ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço igualmente aos Professores Dr. Jean Marcel Sousa Lira e Dr. Rodolfo Soares de Almeida, coorientadores, pelas valiosas contribuições técnicas e científicas que enriqueceram este estudo.

Agradeço também ao Professor Dr. Helio Garcia Leite, pelo apoio constante nas análises estatísticas e pelos valiosos conselhos ao longo desta pesquisa.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, pela formação acadêmica de excelência, pelo apoio institucional e pelas condições oferecidas para a realização deste trabalho.

Este trabalho foi realizado com o apoio das seguintes agências de pesquisa brasileiras: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

À Empresa Arauco Brasil, pelo apoio institucional, pela disponibilização das áreas experimentais e pelo suporte técnico e financeiro durante a condução da pesquisa.

À Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMPBRAPII), Unidade Fibras Florestais – UFV, pelo suporte financeiro para a realização da pesquisa.

Aos meus sogros, pelo apoio contínuo e pela compreensão demonstrada ao longo desta etapa.

Por fim, aos meus irmãos, pelo apoio emocional e pelo acompanhamento ao longo deste período da minha vida.

“O sucesso na vida não se mede pelo que se conquista, mas pelos obstáculos que se superam.”
(Booker T. Washington)

RESUMO

MONSALVE, Fernando Alexander Delgado, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2026. **Desempenho inicial em campo de clones de *Eucalyptus* em função do tipo e do volume de recipientes com e sem restrição hídrica inicial.** Orientador: Silvio Nolasco de Oliveira Neto. Coorientadores: Jean Marcel Sousa Lira e Rodolfo Soares de Almeida.

A qualidade das mudas é determinante para o estabelecimento inicial de plantações clonais de *Eucalyptus* em campo, e o tipo e o volume dos recipientes utilizados na sua produção influenciam esse desempenho. No entanto, avaliações integradas desses fatores, sob condições operacionais e em diferentes locais de plantio, ainda são limitadas. Esta dissertação teve como objetivo avaliar o desempenho inicial em campo de clones de *Eucalyptus* em função do tipo e do volume dos recipientes utilizados na produção das mudas, considerando condições com restrição hídrica inicial, associada ao déficit hídrico observado no período de implantação, e sem restrição hídrica inicial, associada ao excedente hídrico no período inicial de plantio. Para isso, foram conduzidos dois estudos em múltiplos locais, utilizando delineamento em blocos casualizados em arranjo fatorial 3 × 6 (três clones × seis recipientes), com comparação entre recipientes plásticos convencionais e alternativas degradáveis do sistema paperpot. A sobrevivência foi avaliada aos 30 dias após o plantio, enquanto altura e diâmetro à altura do peito (DAP) foram mensurados aos 12 meses, e a taxa de crescimento relativo (TCR) foi determinada com base nos incrementos em altura entre 3 e 12 meses. Em ambas as condições hídricas, as plantas produzidas em paperpot de 71 cm³ apresentaram desempenho de crescimento semelhante ao das produzidas em recipiente convencional tubete de 55 cm³, com resposta equivalente para altura e DAP e semelhante ou superior para a TCR, conforme o local avaliado. Para a sobrevivência inicial, as plantas produzidas em paperpot de 71 cm³ apresentaram resposta semelhante à das produzidas em tubete de 55 cm³ na maior parte dos ambientes avaliados, sem equivalência consistente entre todos os locais. Entre os genótipos avaliados, o Clone 3 apresentou desempenho inicial superior em relação aos demais nas duas condições hídricas. Com base nesses resultados, o paperpot de 71 cm³ mostrou-se, nas condições avaliadas, alternativa tecnicamente viável para a produção de mudas clonais destinadas ao estabelecimento inicial em campo.

Palavras-chave: qualidade de mudas; paperpots; estabelecimento inicial em campo; clones de *Eucalyptus*; restrição hídrica inicial; volume de recipientes

ABSTRACT

MONSALVE, Fernando Alexander Delgado, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2026. **Initial field performance of *Eucalyptus* clones as a function of container type and volume with and without initial water restriction.** Adviser: Silvio Nolasco de Oliveira Neto. Co-advisers: Jean Marcel Sousa Lira and Rodolfo Soares de Almeida.

Seedling quality is essential for the initial establishment of clonal *Eucalyptus* plantations in the field, and the type and volume of the containers used during seedling production influence this performance. However, integrated assessments of these factors under operational conditions and across different planting sites remain limited. This dissertation evaluated the early field performance of *Eucalyptus* clones as affected by container type and volume under two contrasting scenarios: initial water restriction, associated with water deficit during establishment, and conditions without initial water restriction, associated with water surplus during the planting period. To achieve this, two multi-site studies were conducted using a randomized complete block design in a 3 × 6 factorial arrangement (three clones × six containers), comparing conventional plastic containers with degradable alternatives from the paperpot system. Survival was assessed at 30 days after planting, whereas height and diameter at breast height (DBH) were measured at 12 months, and relative growth rate (RGR) was determined from height increments between 3 and 12 months. Under both water conditions, plants produced in 71 cm³ paperpots showed growth performance similar to that of those produced in conventional 55 cm³ plastic tubes, with equivalent responses for height and DBH and similar or superior responses for RGR, depending on the site. For initial survival, plants produced in 71 cm³ paperpots showed responses similar to those of plants produced in 55 cm³ tubes in most of the evaluated environments, although this equivalence was not consistent across all sites. Among the evaluated genotypes, Clone 3 showed superior initial performance compared with the others under both water conditions. Based on these results, the 71 cm³ paperpot proved, under the evaluated conditions, to be a technically viable alternative for the production of clonal seedlings intended for initial field establishment.

Keywords: seedling quality; paperpots; initial field establishment; *Eucalyptus* clones; initial water restriction; container volume

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Localização dos quatro locais experimentais no estado de Mato Grosso do Sul, Brasil.....24
- Figura 2** - Temperatura média mensal (°C) e precipitação acumulada (mm) entre outubro de 2023 e setembro de 2024 nos locais experimentais.....25
- Figura 3** - Balanço hídrico, calculado pelo método de Thornthwaite e Mather (1995), referente ao período de outubro de 2023 a setembro de 2024, considerando o excedente e o déficit hídrico.26
- Figura 4** - Taxa de sobrevivência (%) de clones de *Eucalyptus* aos 30 dias após o plantio, em função da interação entre locais e recipientes. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Letras minúsculas comparam recipientes dentro de cada local, e letras maiúsculas comparam o mesmo recipiente entre locais. Pontos representam as médias e as barras horizontais indicam o erro-padrão da média (EP). T = tubete; P = *paperpot*.29
- Figura 5** - Taxa de sobrevivência (%) de clones de *Eucalyptus* aos 30 dias após o plantio (DAP), em função da interação entre locais e clones. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Letras minúsculas comparam clones dentro de cada local, e letras maiúsculas comparam o mesmo clone entre locais. Barras representam o erro-padrão da média (EP).31
- Figura 6** - Taxa de sobrevivência (%) de clones de *Eucalyptus* aos 30 dias após o plantio, em função da interação entre clones e recipientes. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Pontos representam as médias e as barras horizontais indicam o erro-padrão da média (EP). T = tubete; P = *paperpot*.....32
- Figura 7** - Altura média (m) de clones de *Eucalyptus* aos 12 meses após o plantio, em função da interação entre locais e clones. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Letras minúsculas comparam clones dentro de cada local, e letras maiúsculas comparam o mesmo clone entre locais. Barras representam o erro-padrão da média (EP).33

Figura 8 - Altura média (m) de clones de <i>Eucalyptus</i> aos 12 meses após o plantio, em função do tipo de recipiente. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Pontos representam as médias e as barras horizontais indicam o erro-padrão da média (EP). T = tubete; P = <i>paperpot</i>	34
Figura 9 - Diâmetro médio à altura do peito (cm) de plantas clonais de <i>Eucalyptus</i> aos 12 meses após o plantio, em função do clone em cada local. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Barras representam o erro-padrão da média (EP).	35
Figura 10 - Diâmetro médio à altura do peito (cm) de clones de <i>Eucalyptus</i> aos 12 meses após o plantio, em função entre locais e recipientes. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Pontos representam as médias e as barras horizontais indicam o erro-padrão da média (EP). T = tubete; P = <i>paperpot</i> ; ns = não significativo.	36
Figura 11 - Taxa média de crescimento relativo ($m.mês^{-1}$) de clones de <i>Eucalyptus</i> em função do local. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Barras representam o erro-padrão da média (EP).	38
Figura 12 - Localização dos três locais experimentais no estado de Mato Grosso do Sul, Brasil.	48
Figura 13 - Temperatura média mensal ($^{\circ}C$) e precipitação acumulada (mm) no período de fevereiro de 2024 a janeiro de 2025 nos locais experimentais.	49
Figura 14 - Balanço hídrico, calculado pelo método de Thornthwaite e Mather (1995), referente ao período de fevereiro de 2024 a janeiro de 2025, considerando o excedente e o déficit hídrico.	50
Figura 15 - Taxa de sobrevivência (%) de clones de <i>Eucalyptus</i> aos 30 dias após plantio, em função da interação entre locais e recipientes. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Letras minúsculas comparam recipientes dentro de cada local, e letras maiúsculas comparam o mesmo recipiente entre locais. Pontos representam as médias e as barras horizontais indicam o erro-padrão da média (EP). T = tubete; P = <i>paperpot</i>	55

Figura 16 - Taxa de sobrevivência (%) de clones de *Eucalyptus* aos 30 dias após o plantio, em função da interação entre clone e recipiente. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Pontos representam as médias e as barras horizontais indicam o erro-padrão da média (EP). T = tubete; P = *paperpot*; ns = não significativo..... 56

Figura 17 - Taxa de sobrevivência (%) de clones de *Eucalyptus* aos 30 dias após o plantio, em função da interação entre locais e clones. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Letras minúsculas comparam clones dentro de cada local, e letras maiúsculas comparam o mesmo clone entre locais. Barras representam o erro-padrão da média (EP). 58

Figura 18 - Altura média (m) de clones de *Eucalyptus* aos 12 meses após o plantio, em função da interação entre locais e clones. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Letras minúsculas comparam clones dentro de cada local, e letras maiúsculas comparam o mesmo clone entre locais. Barras representam o erro-padrão da média (EP). 59

Figura 19 - Diâmetro à altura do peito (cm) de clones de *Eucalyptus* aos 12 meses após o plantio, em função dos clones em cada local. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Barras representam o erro padrão da média..... 61

Figura 20 - Diâmetro à altura do peito (cm) médio de clones de *Eucalyptus* aos 12 meses após o plantio, em função do clone e recipiente. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Pontos representam as médias e as barras horizontais indicam o erro-padrão da média (EP). T = tubete; P = *paperpot*; ns = não significativo. 61

Figura 21 - Taxa de crescimento relativo ($m.mês^{-1}$) de clones de *Eucalyptus* em função da interação entre locais e clones. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Letras minúsculas comparam clones dentro de cada local, e letras maiúsculas comparam o mesmo clone entre locais. Barras representam o erro-padrão da média (EP). 63

Figura 22 - Taxa de crescimento relativo média ($m.mês^{-1}$) de clones de *Eucalyptus* em função da interação entre locais e recipientes. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Letras minúsculas comparam recipientes dentro de cada local,

e letras maiúsculas comparam o mesmo recipiente entre locais. Pontos representam as médias e as barras horizontais indicam o erro-padrão da média (EP). T = tubete; P = *paperpot*.....63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação pedológica e classes texturais dos solos nos locais experimentais. .51

Tabela 2 - Coeficientes de correlação de Pearson entre atributos morfológicos de mudas produzidas em viveiro e a sobrevivência em campo aos 30 dias após o plantio.....59

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	15
REFERÊNCIAS	17
CAPÍTULO 1 DESEMPENHO INICIAL EM CAMPO DE CLONES DE <i>EUCALYPTUS</i> EM FUNÇÃO DO TIPO E DO VOLUME DE RECIPIENTES COM RESTRIÇÃO HÍDRICA INICIAL	20
1.1 INTRODUÇÃO.....	22
1.2. MATERIAL E MÉTODOS	24
1.2.1 Área de estudo e caracterização edafoclimática	24
1.2.2 Produção das mudas	26
1.2.3 Implantação do experimento.....	26
1.2.4 Delineamento experimental	27
1.2.5 Variáveis avaliadas	27
1.2.6 Análise estatística	28
1.3 RESULTADOS	29
1.3.1 Homogeneidade de variâncias entre locais.....	29
1.3.2 Taxa de sobrevivência	29
1.3.3 Crescimento em altura	33
1.3.4 Crescimento em diâmetro à altura do peito (DAP).....	35
1.3.5 Crescimento na taxa de crescimento relativo	37
1.4 DISCUSSÃO.....	38
1.4.1 Taxa de sobrevivência	38
1.4.2 Crescimento	39
1.5 CONCLUSÃO.....	41
1.6 REFERÊNCIAS	41
CAPÍTULO 2 DESEMPENHO INICIAL EM CAMPO DE CLONES DE <i>EUCALYPTUS</i> EM FUNÇÃO DO TIPO E DO VOLUME DE RECIPIENTES SEM RESTRIÇÃO HÍDRICA INICIAL	45
2.1 INTRODUÇÃO.....	47
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	48
2.2.1 Área de estudo e caracterização edafoclimática	48
2.2.2 Produção das mudas	51

2.2.3 Implantação do experimento.....	52
2.2.4 Delineamento experimental	52
2.2.5 Variáveis avaliadas	53
2.2.6 Análise estatística	53
2.3 RESULTADOS	54
2.3.1 Homogeneidade de variâncias entre locais.....	54
2.3.2 Taxa de sobrevivência	54
2.3.3 Crescimento em altura	59
2.3.4 Crescimento em diâmetro à altura do peito (DAP).....	60
2.3.5 Crescimento na taxa de crescimento relativo (TCR).....	62
2.4 DISCUSSÃO.....	65
2.4.1 Taxa de sobrevivência	65
2.4.2 Crescimento inicial	65
2.5 CONCLUSÃO.....	67
2.6 REFERÊNCIAS	67
CONCLUSÃO GERAL	71

INTRODUÇÃO GERAL

As florestas plantadas ocupam posição central na produção global de madeira, sustentando cadeias industriais que dependem de elevada produtividade, ciclos produtivos curtos e estabilidade operacional (Kulmann et al., 2021; Paquette e Messier, 2010). No Brasil, a silvicultura baseada em espécies do gênero *Eucalyptus* destaca-se pelo rápido crescimento, elevada produtividade e ampla adaptabilidade a diferentes condições edafoclimáticas, características resultantes da combinação entre condições ambientais favoráveis, avanços no melhoramento genético e o aprimoramento contínuo das práticas de manejo (Elli et al., 2020; Flores et al., 2018). Esse conjunto de fatores consolidou o país como uma das principais referências mundiais na produção florestal, especialmente no segmento de plantações clonais destinadas às indústrias de papel e celulose, energia e produtos sólidos de madeira, nas quais decisões técnicas adotadas nas fases iniciais do cultivo exercem papel determinante sobre o desempenho produtivo ao longo do ciclo florestal (Binkley et al., 2017; IBÁ, 2024).

O sucesso produtivo desses plantios está diretamente associado à eficiência do estabelecimento inicial em campo, etapa crítica do ciclo florestal que condiciona a sobrevivência, o crescimento inicial e a uniformidade dos povoamentos (Guimarães et al., 2025). Nesse contexto, a qualidade das mudas assume papel central, uma vez que mudas bem formadas tendem a apresentar maior resistência ao estresse de transplante e melhor desempenho inicial ao longo do ciclo produtivo (Grossnickle, 2012; Hechter et al., 2022; Ivetić et al., 2016). Entre os fatores que influenciam diretamente essa qualidade, destacam-se as condições de produção das mudas, especialmente aquelas relacionadas ao tipo e ao volume dos recipientes empregados durante a fase de viveiro, fatores tecnológicos passíveis de manejo e ajuste operacional (Park et al., 2021).

Historicamente, a produção de mudas clonais de *Eucalyptus* no Brasil tem sido baseada no uso de tubetes plásticos reutilizáveis, amplamente adotados em função de sua durabilidade, compatibilidade com sistemas mecanizados e facilidade de transporte (Lisboa et al., 2012; Lopes et al., 2014). Apesar dessas vantagens operacionais, esses recipientes apresentam limitações ambientais e logísticas, relacionadas à necessidade de higienização, à logística reversa e ao uso de polímeros derivados do petróleo, cujo descarte gera impactos ambientais relevantes (Mendonça et al., 2016; Phung et al., 2021).

Como alternativa a esse modelo, recipientes degradáveis à base de materiais celulósicos têm sido desenvolvidos com o objetivo de reduzir passivos ambientais e simplificar as operações de plantio (Alfenas et al., 2009; Caldeira et al., 2016). Entre essas tecnologias, os

sistemas do tipo *paperpot* têm recebido destaque por permitirem o plantio direto, favorecerem a continuidade do crescimento radicular e reduzirem deformações estruturais do sistema radicular, preservando a integridade do torrão após o transplantio (Santos et al., 2024). Evidências obtidas em viveiro e em avaliações iniciais de campo indicam vantagens morfofisiológicas associadas a esses recipientes (Fanola et al., 2023; Freitas et al., 2013). Além do tipo de recipiente, o volume disponível para o desenvolvimento do sistema radicular exerce influência significativa sobre a sobrevivência e o crescimento inicial de espécies florestais, podendo afetar a arquitetura radicular, a absorção de água e nutrientes e a capacidade de resposta das plantas a condições ambientais adversas (Davis e Pinto, 2021; Gomes e Paiva, 2013).

Nesse contexto, os efeitos do tipo e do volume dos recipientes sobre o desempenho inicial não se manifestam de forma isolada, sendo fortemente influenciados pelas condições ambientais predominantes após o plantio (Bernardino et al., 2019; Wirabuana et al., 2021). Evidências da literatura indicam que maior disponibilidade hídrica associada à precipitação no período de implantação favorece tanto a sobrevivência quanto o crescimento inicial, ao promover maior continuidade no desenvolvimento do sistema radicular e reduzir o estresse hídrico nas fases iniciais do cultivo (Flumignan et al., 2024). Em contraste, plantios realizados sob menor disponibilidade hídrica tendem a apresentar maior sensibilidade durante o estabelecimento, com impactos diretos sobre a sobrevivência e o crescimento inicial das plantas (Medeiros et al., 2025).

Apesar dos avanços tecnológicos relacionados aos recipientes, ainda existe uma lacuna de conhecimento quanto aos efeitos combinados do tipo e do volume de recipientes no desempenho inicial em campo de clones de *Eucalyptus* (Siqueira et al., 2025). A maior parte dos estudos existentes avalia isoladamente o efeito do material ou do volume do recipiente, concentrando-se na fase de viveiro ou em avaliações pontuais, o que limita a compreensão da interação entre recipientes, genótipo e variabilidade edafoclimática após o plantio (Navarro et al., 2024; Silva et al., 2025).

Diante desse cenário, torna-se evidente a necessidade de estudos integrados que avaliem, em condições reais de campo, os efeitos combinados do tipo e do volume dos recipientes sobre o desempenho inicial de clones de *Eucalyptus*, considerando diferentes ambientes e épocas de plantio, caracterizadas por distintos regimes hídricos no período inicial após o estabelecimento (Silva et al., 2025; Zavistanovicz et al., 2020). Essa abordagem é fundamental para compreender como fatores tecnológicos, genéticos e ambientais interagem na

determinação dos padrões de sobrevivência e crescimento inicial, subsidiando decisões técnicas mais eficientes e alinhadas aos princípios da sustentabilidade florestal (Wendling et al., 2021).

Diante disso, este estudo teve como objetivo geral avaliar o desempenho inicial em campo de clones de *Eucalyptus* em função do tipo e do volume dos recipientes utilizados na produção de mudas, considerando épocas de plantio com restrição hídrica inicial, associada ao déficit hídrico observado no período de implantação, e sem restrição hídrica inicial, associada ao excedente hídrico no período inicial de plantio. Para isso, a dissertação foi estruturada em dois capítulos:

1. Desempenho inicial em campo de clones de *Eucalyptus* em função do tipo e do volume de recipientes com restrição hídrica inicial;
2. Desempenho inicial em campo de clones de *Eucalyptus* em função do tipo e do volume de recipientes sem restrição hídrica inicial.

Em conjunto, os resultados contribuem para ampliar o conhecimento técnico-científico sobre o uso de recipientes na produção de mudas clonais de *Eucalyptus* e fornecem subsídios para a definição de estratégias de plantio e manejo mais eficientes em diferentes condições de estabelecimento em campo.

Referências

- ALFENAS, A. C. *et al.* Doenças causadas por agentes bióticos ou infecciosos. In: ALFENAS, A. C. *et al.* Clonagem e doenças do eucalipto. 2. ed. Viçosa: UFV, 2009. p. 207–319.
- BERNARDINO, Lynniker Três *et al.* Pre-irrigation with gel hidrotentor in *Eucalyptus* seedling establishment in the field. **FLORESTA**, v. 49, n. 3, p. 391–400, 2019. <https://doi.org/10.5380/ufv.v49i3.56245>
- BINKLEY, Dan *et al.* The interactions of climate, spacing and genetics on clonal *Eucalyptus* plantations across Brazil and Uruguay. **Forest Ecology and Management**, v. 405, p. 271–283, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.09.050>
- DAVIS, Anthony S.; PINTO, Jeremiah R. The scientific basis of the target plant concept: an overview. **Forests**, v. 12, n. 9, p. 1293, 2021. <https://doi.org/10.3390/f12091293>
- ELLI, Elvis Felipe *et al.* Global sensitivity-based modelling approach to identify suitable *Eucalyptus* traits for adaptation to climate variability and change. **In Silico Plants**, v. 2, n. 1, p. 1–17, 2020. <https://doi.org/10.1093/insilicoplants/diaa003>
- FANOLA, Hannah Cristina Botelho Lima *et al.* Efeitos de diferentes recipientes e idades de expedição na qualidade de mudas clonais de eucalipto. **DELLOS: Desarrollo Local Sostenible**, v. 16, n. 47, p. 2952–2964, 2023. <https://doi.org/10.55905/rdelosv16.n47-028>

FLORES, Thiago Bevilacqua *et al.* *Eucalyptus* in Brazil Climatic Zoning and Identification Guide. [S.l.]: IPEF, 2018. 447 p. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/guiaeeucalyptus/en/>. Acesso em: 22 dez. 2025.

FLUMIGNAN, Danilton Luiz *et al.* Diameter growth of *Eucalyptus* trees in agroforestry systems and its relation to air temperature and precipitation. **Agroforestry Systems**, v. 98, n. 5, p. 1195–1209, 2024. <https://doi.org/10.1007/s10457-023-00936-x>

FREITAS, Teresa Aparecida Soares *et al.* Crescimento e ciclo de produção de mudas de *Eucalyptus* em recipientes. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, n. 76, p. 419–428, 2013. <https://doi.org/10.4336/2013.pfb.33.76.575>

GROSSNICKLE, Steven 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>

GUIMARÃES, Zilza Thayane Matos; LOPES, Lariany Falcão de Lima; FERREIRA, Marciel José. Productivity and stem quality of Amazon tree species: effects of initial seedling size and site preparation methods. **Forest Science**, v. 71, n. 1, p. 1–20, 2025. <https://doi.org/10.1007/S44391-024-00010-8>

HECHTER, Ullrich *et al.* Factors affecting eucalypt survival in South African plantation forestry. **Southern Forests**, v. 84, n. 3, p. 253–270, 2022. <https://doi.org/10.2989/20702620.2022.2147874>

IBÁ. Relatório Anual. [S.l.]: IBÁ, 2024, 99 p. Disponível em: <https://iba.org/wp-content/uploads/2025/05/relatorio2024.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2025.

IVETIĆ, Vladan; GROSSNICKLE, Steven; ŠKORIĆ, Mirko. Forecasting the field performance of Austrian pine seedlings using morphological attributes. **IForest**, v. 10, n. 1, p. 99–107, 2016. <https://doi.org/10.3832/ifor1722-009>

KULMANN, Matheus S. S. *et al.* Effects of phosphorus fertilizer application on phosphorus fractions in different organs of *Cordia trichotoma*. **Journal of Forestry Research**, v. 32, n. 2, p. 725–732, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01136-4>

LISBOA, Alysson Canabrava *et al.* Efeito do volume de tubetes na produção de mudas de *Calophyllum brasiliense* e *Toona ciliata*. **Revista Árvore**, v. 36, n. 4, p. 603–609, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622012000400003>

LOPES, Emerson Delano; AMARAL, Cláudio Lúcio Fernandes; NOVAES, Adalberto Brito. Desempenho no campo de mudas de *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus camaldulensis* e *Corymbia citriodora* produzidas em diferentes recipientes. **Floresta**, v. 44, n. 4, p. 589–596, 2014. <https://doi.org/10.5380/rf.v44i4.26480>

MEDEIROS, Priscila Lira *et al.* The myth that *Eucalyptus* trees deplete soil water: a review. **Forests**, v. 16, n. 3, p. 423, 2025. <https://doi.org/10.3390/f16030423>

MENDONÇA, Andrea Vita Reis *et al.* Recipiente de fibras de *Attalea funifera* para produção de mudas de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 87, p. 245–252, 2016. <https://doi.org/10.4336/2016.pfb.36.87.1186>

NAVARRO, Francisco B. *et al.* Interaction between weeding, outplanting date and site in open oak woodland plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 554, p. 121649, 2024. <https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2023.121649>

PAQUETTE, Alain; MESSIER, Christian. The role of plantations in managing the world's forests in the Anthropocene. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 8, n. 1, p. 27-34, 2010. <https://doi.org/10.1890/080116>

PARK, Byung Bae *et al.* The use of deep container and heterogeneous substrate as potentially effective nursery practice to produce good quality nodal seedlings of *Populus sibirica* Tausch. **Forests**, v. 12, n. 4, p. 418, 2021. <https://doi.org/10.3390/F12040418>

PHUNG, Thanh Khoa *et al.* (Bio)propylene production processes: a critical review. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, n. 4, p. 105673, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105673>

SANTOS, Renan Alves; NOVAES, Adalberto Brito; SOUSA, Nilton José. Root and morphological characteristics of *Eucalyptus* seedlings produced in biodegradable containers. **Floresta**, v. 54, n. 1, p. e-81761, 2024. <https://doi.org/10.5380/RF.V54I1.81761>

SILVA, Ana Caroline Rodrigues *et al.* Biodegradable containers affect the morphological and nutritional aspects of *Eucalyptus urophylla* seedlings. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 49, p. e0240216, 2025. <https://doi.org/10.36783/18069657RBCS20240216>

SIQUEIRA, David Pessanha *et al.* Container size and site quality affect survival and early growth performance of New Zealand native tree species. **Journal of Forestry Research**, v. 36, n. 1, p. 51, 2025. <https://doi.org/10.1007/S11676-025-01851-W>

WIRABUANA, Pandu Yudha Adi Putra *et al.* The growth, aboveground biomass, crown development, and leaf characteristics of three *Eucalyptus* species at initial stage of planting in Jepara, Indonesia. **Biodiversitas**, v. 22, n. 5, p. 2859–2869, 2021. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d220550>

Wendling I. *et al.* Produção de mudas de eucalipto. In: Wendling, I. *et al.* O eucalipto e a Embrapa: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento. Brasília: Embrapa Florestas, 2021. Cap. 22, p. 823-859. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1131510>. Acesso em: 21 ago. 2025.

ZAVISTANOVICZ, Thairini Claudino *et al.* Nursery and field growths of *Enterolobium contortisiliquum* seedlings produced in different containers and fertilizer doses. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, n. 3, p. 1–8, 2020. <https://doi.org/10.5039/agraria.v15i3a7507>

CAPÍTULO 1

DESEMPENHO INICIAL EM CAMPO DE CLONES DE *EUCALYPTUS* EM FUNÇÃO DO TIPO E DO VOLUME DE RECIPIENTES COM RESTRIÇÃO HÍDRICA INICIAL

Resumo

A produção de mudas de alta qualidade é determinante para o sucesso dos plantios comerciais de *Eucalyptus*, sobretudo em ambientes tropicais, onde a variabilidade edafoclimática intensifica diferenças no estabelecimento inicial. O tipo e o volume dos recipientes utilizados na produção de mudas influenciam diretamente o desempenho inicial das plantas; entretanto, a avaliação integrada desses fatores em múltiplos locais ainda é limitada. Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos do tipo e do volume de recipientes, com ênfase em recipientes degradáveis do sistema *paperpot*, no desempenho inicial em campo de clones de *Eucalyptus* sob restrição hídrica inicial associada ao déficit hídrico observado no período de implantação. O experimento foi conduzido em quatro áreas com Neossolos Quartzarênicos, utilizando delineamento em blocos casualizados em arranjo fatorial 3×6 (três clones \times seis recipientes). A sobrevivência foi avaliada aos 30 dias após o plantio, enquanto altura e diâmetro à altura do peito (DAP) foram mensurados aos 12 meses, e a taxa de crescimento relativo (TCR) foi determinada com base nos incrementos em altura entre 3 e 12 meses. Para altura e DAP, as plantas produzidas em *paperpot* de 71 cm^3 apresentaram desempenho semelhante ao das produzidas em recipiente convencional tubete de 55 cm^3 . Para a TCR, não foi observado efeito significativo do tipo e do volume dos recipientes. Quanto à sobrevivência inicial, as plantas produzidas em *paperpot* 71 cm^3 apresentaram resposta semelhante à das produzidas em tubete de 55 cm^3 na maior parte dos ambientes avaliados, com diferença observada no local caracterizado pela maior profundidade do lençol freático. Entre os genótipos avaliados, o Clone 3 apresentou desempenho inicial superior em relação aos demais. Com base nesses resultados, o *paperpot* de 71 cm^3 configurou-se como alternativa tecnicamente viável para a produção de mudas clonais destinadas ao estabelecimento inicial em campo.

Palavras-chave: Qualidade de mudas; *paperpots*; estabelecimento florestal; híbridos de *Eucalyptus*; Neossolos Quartzarênicos; restrição hídrica inicial.

CHAPTER 1
**INITIAL FIELD PERFORMANCE OF *EUCALYPTUS* CLONES AS A FUNCTION OF
CONTAINER TYPE AND VOLUME UNDER INITIAL WATER RESTRICTION**

Abstract

High-quality seedling production is essential for the success of commercial *Eucalyptus* plantations, particularly in tropical environments where edaphoclimatic variability intensifies differences in early establishment. Container type and volume directly influence initial plant performance; however, integrated evaluations of these factors across multiple sites remain limited. This study evaluated the effects of container type and volume, with emphasis on degradable paperpot containers, on the initial field performance of *Eucalyptus* clones under water restriction associated with the deficit observed during the planting period. The experiment was conducted at four sites with Quartzipsamments using a randomized complete block design in a 3×6 factorial arrangement (three clones \times six containers). Survival was assessed at 30 days after planting, whereas height and diameter at breast height (DBH) were measured at 12 months, and relative growth rate (RGR) was determined from height increments between 3 and 12 months. For height and DBH, plants produced in 71 cm³ paperpots showed performance similar to that of those produced in conventional 55 cm³ plastic tubes. For RGR, no significant effect of container type and volume was observed. For initial survival, plants produced in 71 cm³ paperpots showed a response similar to that of those produced in 55 cm³ tubes in most of the evaluated environments, with a difference observed at the site characterized by the greatest depth to the water table. Among the evaluated genotypes, Clone 3 showed superior initial performance compared with the others. Based on these results, the 71 cm³ paperpot proved to be a technically viable alternative for the production of clonal seedlings intended for initial field establishment.

Keywords: Seedling quality; paperpots; forest establishment; *Eucalyptus* hybrids; Quartzipsamments; initial water restriction.

1.1 Introdução

As florestas plantadas ocupam posição central na produção global de madeira, sustentando cadeias industriais que dependem de ciclos produtivos curtos e elevado rendimento biológico (Paquette e Messier 2010; Kulmann et al. 2021). No Brasil, a silvicultura baseada em espécies do gênero *Eucalyptus* spp. destaca-se pela produtividade elevada (média de 34 m³.ha⁻¹.ano) pela rápida formação de biomassa, características amplamente associadas à sua adaptabilidade ecológica e os amplos avanços genéticos e de manejo, alcançados nas últimas décadas (Flores et al. 2018; Elli et al. 2020). Esse desempenho consolidou o país como uma das principais referências internacionais em produção florestal, impulsionado tanto por condições edafoclimáticas favoráveis quanto pela modernização contínua das tecnologias de manejo e produção de mudas, elementos essenciais para garantir o estabelecimento inicial e a longevidade dos povoamentos (Binkley et al. 2017; IBÁ 2024).

A produtividade e a sustentabilidade desses plantios estão diretamente associadas à qualidade das mudas utilizadas no campo, que, quando bem formadas, garantem maior sobrevivência, crescimento inicial acelerado e maior uniformidade dos povoamentos (Guimarães et al., 2025; Mataruga et al., 2023). Entre os fatores que mais influenciam essa qualidade destacam-se o tipo e o volume dos recipientes de produção de mudas, que afetam o desenvolvimento radicular, a nutrição mineral e a resistência ao estresse de transplante (Park et al., 2021).

A rápida expansão do setor florestal brasileiro impulsionou a adoção de sistemas de produção de mudas baseados em recipientes reutilizáveis, com destaque para os tubetes plásticos de polipropileno (Lopes et al., 2014). Esses recipientes tornaram-se padrão na produção de *Eucalyptus* spp. e *Pinus* spp. em função de sua durabilidade e compatibilidade com transporte e operações mecanizadas de plantio (Abreu et al., 2015; Lisboa et al., 2012). No entanto, apresentam limitações ambientais e operacionais, como a necessidade de higienização e logística reversa, além do uso de polímeros derivados do petróleo, materiais não renováveis e de lenta degradação, cujo descarte gera impacto ambiental (Mendonça et al., 2016; Phung et al., 2021).

Como alternativa, surgiram recipientes degradáveis produzidos a partir de compostos orgânicos e celulósicos, eliminando etapas de devolução e reduzindo os passivos ambientais associados ao uso de plástico (Caldeira et al. 2016). Entre essas tecnologias, o sistema *paperpots* tem recebido destaque por empregar lâminas de celulose que favorecem maior penetração radicular, reduzem deformações estruturais e mantêm a integridade do torrão,

promovendo melhor enraizamento após o transplante (Alfenas et al., 2009). Evidências recentes mostram que mudas clonais de *Eucalyptus* spp. produzidas em *paperpots* apresentam melhor equilíbrio morfofisiológico e menor estresse pós-plantio quando comparadas às originadas em tubetes rígidos (Santos et al., 2024). De forma complementar, o volume do recipiente exerce forte influência sobre a sobrevivência e o crescimento inicial de espécies arbóreas (Davis e Pinto 2021).

Apesar dos avanços tecnológicos em recipientes, ainda existe uma lacuna de conhecimento quanto aos efeitos combinados do tipo e volume de recipiente, principalmente dos degradáveis no desempenho inicial de clones de *Eucalyptus* spp. em condições reais de campo (Silva et al., 2025). A maior parte dos estudos concentra-se exclusivamente na etapa de viveiro, desconsiderando fatores edáficos, climáticos e fisiográficos que modulam o estabelecimento pós-plantio (Zavistanovicz et al., 2020). Além dessa limitação, são escassos os trabalhos comparativos conduzidos em múltiplos locais, o que dificulta compreender como fatores genéticos, características estruturais dos recipientes e variabilidade ambiental interagem para determinar a sobrevivência e o crescimento inicial (Navarro et al., 2024; Siqueira et al., 2025).

Compreender como o tipo e o volume dos recipientes influenciam o desempenho inicial das mudas é fundamental para aprimorar a eficiência operacional, a sustentabilidade ambiental e o sucesso do plantio (Wendling et al. 2021). Recipientes de maior volume e alternativas degradáveis têm demonstrado potencial para melhorar a sobrevivência e o crescimento inicial, embora sua eficácia dependa da interação entre os genótipos e as condições edáficas do sítio (Tian et al., 2017).

Além de contribuir para o avanço técnico do setor florestal, a adoção de recipientes degradáveis alinha-se às metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente no incentivo à substituição de plásticos convencionais e à adoção de materiais ambientalmente responsáveis (ONU, 2023),

O presente estudo teve como objetivo avaliar o desempenho inicial em campo de clones de *Eucalyptus* em função do tipo e do volume dos recipientes utilizados na produção das mudas, comparando recipientes plásticos convencionais e alternativas degradáveis do sistema *paperpot* sob restrição hídrica inicial, associada ao déficit hídrico no período de implantação, e seus efeitos sobre a sobrevivência e o crescimento inicial das plantas em diferentes locais de plantio.

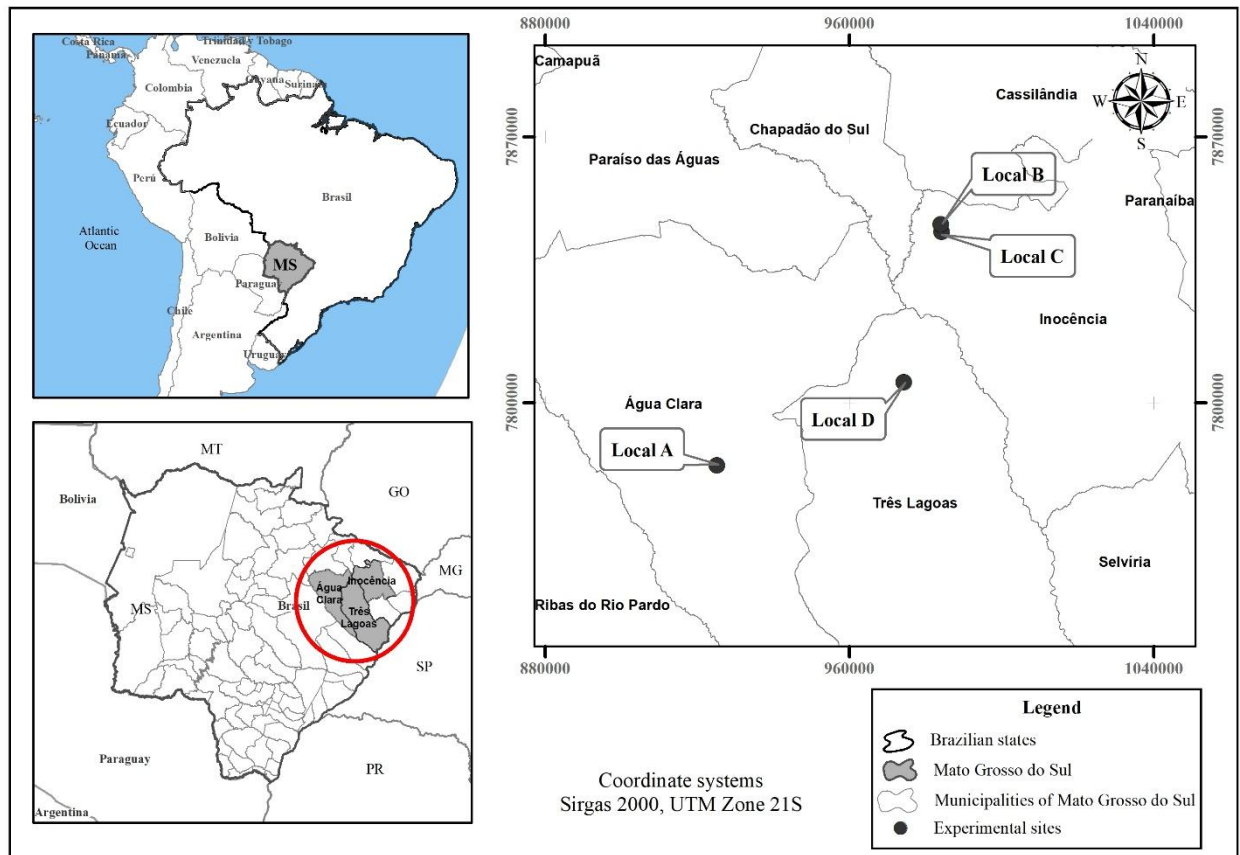
1.2. Material e métodos

1.2.1 Área de estudo e caracterização edafoclimática

O experimento foi conduzido em áreas comerciais da empresa Arauco Brasil, no estado de Mato Grosso do Sul, Brasil (Figura 1). A região apresenta clima tropical com estação seca (Aw), segundo a classificação de Köppen, caracterizado por verões quentes e chuvosos e invernos secos. Foram selecionados quatro ambientes experimentais, doravante denominados Local A, Local B, Local C e Local D (Figura 1), distribuídos em diferentes áreas operacionais da empresa.

A profundidade do lençol freático variou entre esses ambientes, de 10 a 15 m no Local A, de 20 a 25 m no Local B, de 5 a 10 m no Local C e de 45 a 50 m no Local D. Em todos eles, os solos foram classificados como Neossolos Quartzarênicos Órticos Típicos, caracterizados por textura predominantemente arenosa.

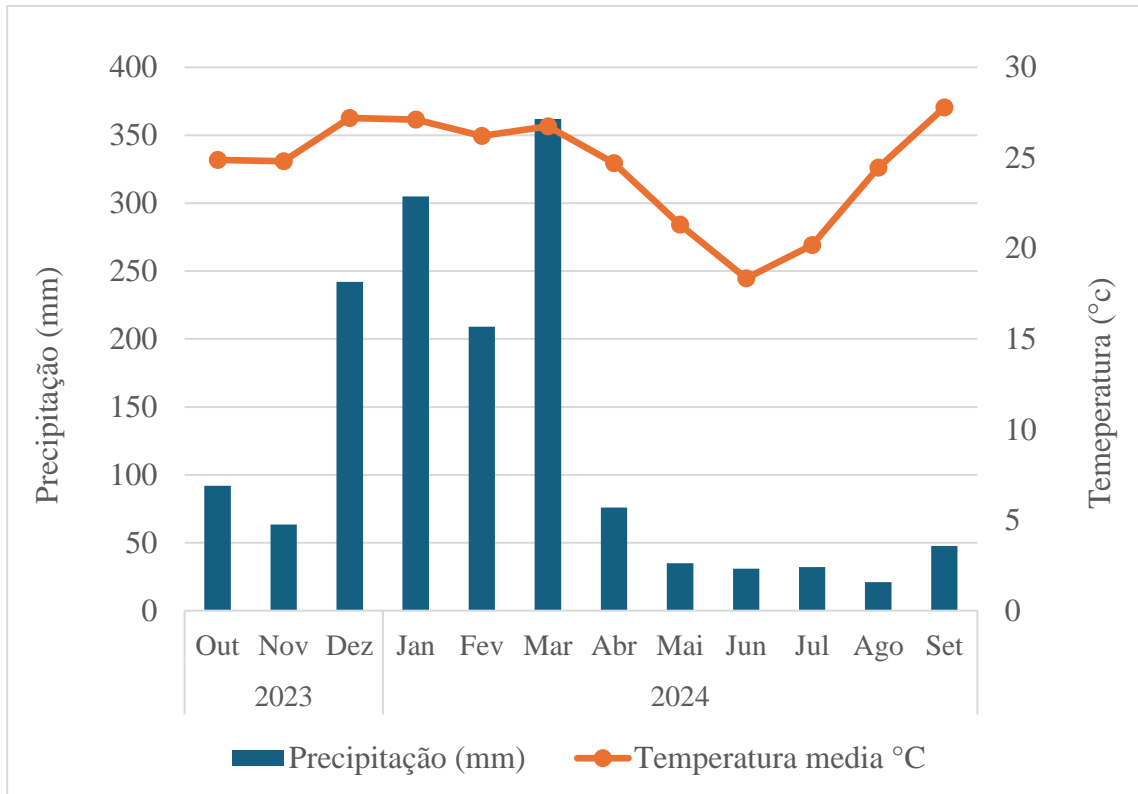
Figura 1 - Localização dos quatro locais experimentais no estado de Mato Grosso do Sul, Brasil.



Fonte: Próprio autor (2026)

Os dados climáticos foram obtidos em estações meteorológicas localizadas a uma distância média de 36 km dos locais experimentais, no período entre outubro de 2023 e setembro de 2024. Nesse intervalo, registrou-se temperatura média anual de 24,5 °C e precipitação acumulada de 1.516,1 mm (Figura 2).

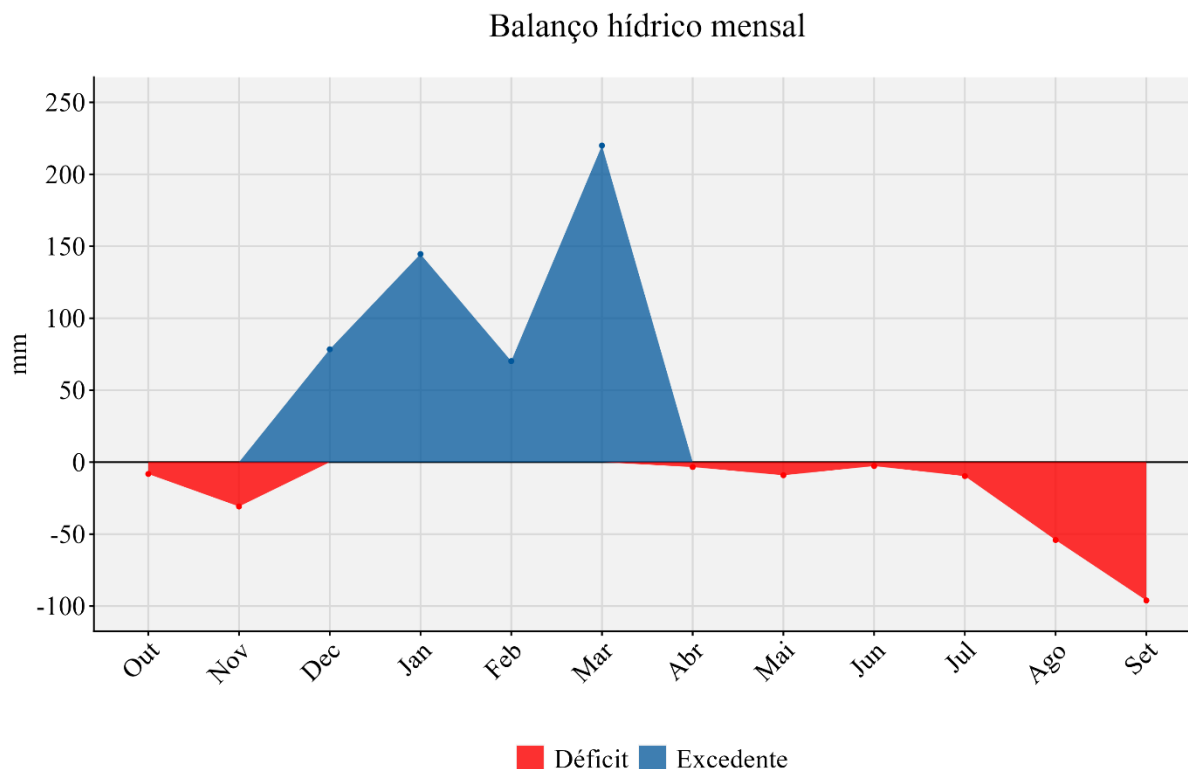
Figura 2 - Temperatura média mensal (°C) e precipitação acumulada (mm) entre outubro de 2023 e setembro de 2024 nos locais experimentais.



Fonte: Próprio autor (2026)

No início da implantação ocorreu déficit hídrico de 8,2 mm em outubro e 30,8 mm em novembro de 2023, indicando baixa disponibilidade de água no solo durante o estabelecimento inicial das mudas, nos meses subsequentes, correspondentes ao período chuvoso (dezembro a março), não houve ocorrência de déficit. A partir de maio, já no início da estação seca, observaram-se déficits crescentes, variando de 2,7 a 96,1 mm entre maio e setembro de 2024, configurando o período de maior restrição hídrica ao longo do ciclo avaliado (Figura 3).

Figura 3 - Balanço hídrico, calculado pelo método de Thornthwaite e Mather (1995), referente ao período de outubro de 2023 a setembro de 2024, considerando o excedente e o déficit hídrico.



Fonte: Próprio autor (2026)

1.2.2 Produção das mudas

As mudas foram produzidas por miniestaquia, utilizando miniestacas dos três clones avaliados. Foi utilizado substrato comercial Sphagnotec 05 classe A, composto por turfa de Sphagno, carbonato de cálcio, pó de coco e perlita, com adubação de base de $0,6 \text{ kg m}^{-3}$ de PGMIX NPK 14-16-18. Tanto os tubetes plásticos quanto os recipientes degradáveis do sistema *paperpot* foram utilizados com o mesmo substrato e a mesma adubação de base. Após o enraizamento e a aclimação, as mudas foram conduzidas à fase de crescimento e rustificação. Durante o crescimento, receberam irrigação conforme as condições climáticas e adubação via fertirrigação, totalizando 24 aplicações, incluindo cinco aplicações de MAP em pó.

1.2.3 Implantação do experimento

A etapa silvicultural do experimento envolveu a preparação prévia do solo por meio de subsolagem a 60 cm de profundidade, seguida da aplicação de $1,5 \text{ t há}^{-1}$ de calcário dolomítico para a correção da acidez. O plantio foi realizado adotando espaçamento de $2,6 \times 3,5 \text{ m}$ ($9,1 \text{ m}^2$ por planta). Antes da implantação, as mudas receberam tratamento de estímulo ao enraizamento e aplicações preventivas de produtos fitossanitários.

A adubação foi parcelada em três aplicações. A adubação de base, consistiu em 350 kg ha⁻¹ da fórmula NPK 06–30–06 + 0,05% de B e Cu, 0,1% de Zn e Mn. A primeira adubação de cobertura foi realizada aos 90 dias após o plantio, com 160 kg há⁻¹ da fórmula 15–05–30 + 0,5% B. A segunda adubação de cobertura ocorreu aos 12 meses, com aplicação de 180 kg há⁻¹ da fórmula 00–00–54.

O controle de plantas daninhas foi realizado com aplicações combinadas de herbicidas pré e pós-emergentes, associadas a capinas mecânicas periódicas. O manejo de formigas cortadeiras foi efetuado por meio de iscas formicidas à base de sulfloramida, aplicadas antes do plantio e reaplicadas durante o primeiro ano de avaliação.

1.2.4 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados (DBC), em arranjo fatorial 3 × 6, totalizando 18 tratamentos. Foram avaliados três clones híbridos de *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla*, doravante denominados Clone 1, Clone 2 e Clone 3, e seis tipos de recipientes com diferentes volumes: *paperpots* de 71, 85, 96 e 115 cm³ e tubetes plásticos de 55 e 100 cm³.

Cada tratamento foi repetido em 12 blocos, totalizando 216 parcelas experimentais por local. Cada parcela foi composta por 30 plantas úteis, dispostas em parcelas retangulares de 6 × 5. Foi estabelecida uma área de bordadura composta por duas linhas de plantio, totalizando 1.136 árvores por local, com o objetivo de minimizar os efeitos de borda. Considerando os quatro locais avaliados, o experimento abrangiu 30.464 árvores, distribuídas em uma área de 27,90 ha.

Os recipientes degradáveis do sistema *paperpot* foram produzidos a partir de papel Ellepot EP 8–12, constituído por fibras de madeira provenientes de florestas manejadas de forma sustentável e certificadas pelo FSC®, combinadas a fontes renováveis controladas, com adição uma fração reduzida de poliéster para reforço estrutural. A estrutura do papel apresenta porosidade controlada, permitindo adequada aeração do substrato e drenagem de água, condições que favorecem o desenvolvimento do sistema radicular das mudas durante a fase de viveiro. Após o transplante, o papel sofre degradação gradual no solo, com período estimado entre 8 e 12 meses, permitindo a expansão contínua do sistema radicular e minimizando restrições físicas ao crescimento inicial em campo.

1.2.5 Variáveis avaliadas

Foram mensuradas quatro variáveis associadas ao estabelecimento e crescimento inicial das plantas. A sobrevivência foi quantificada aos 30 dias após o plantio (DAP), expressa como

a porcentagem de árvores vivas por parcela. Aos 12 meses, foram mensuradas a altura total e o diâmetro à altura do peito (DAP) medido a 1,30 m de todas as árvores de medição. Adicionalmente, a taxa de crescimento relativo (TCR) foi determinada pelo método log-linear, com base nos incrementos em altura entre 3 e 12 meses.

1.2.6 Análise estatística

A análise estatística foi conduzida de acordo com a metodologia proposta por Pimentel-Gomes (2009), que recomenda a verificação prévia da homogeneidade de variâncias entre ambientes antes da realização da análise conjunta. Para esse fim, foram inicialmente conduzidas análises de variância (ANOVA) individuais e, em seguida, calculou-se o quociente entre o maior e o menor quadrado médio dos resíduos (QMResíduos). Quando esse valor foi ≤ 7 , os locais foram agrupados e submetidos à análise conjunta; caso contrário, as análises foram conduzidas separadamente por ambiente experimental.

Esse critério foi aplicado individualmente para cada variável avaliada, de modo a garantir maior precisão estatística e compatibilidade com a variabilidade ambiental observada. Nas análises conjuntas, foram considerados como fontes de variação os fatores local, clone e recipiente, bem como suas interações. O modelo estatístico para a análise conjunta foi:

$$Y = \mu + (b_j | \text{local}) + \text{local}_k + t_i + (\text{local} \times \text{trat})_{ki} + \varepsilon_{ijk}$$

Em que: μ : média geral; $b_j | \text{local}$: blocos aninhados em local; t_i : combinações de clones x recipientes; ε_{ijk} : erro aleatório.

A variável sobrevivência (%) foi analisada por meio de um modelo linear generalizado misto (GLMM), com distribuição binomial (Guimarães et al., 2024), adequado para dados de frequência (1 = plantas vivas; 0 = plantas mortas). O modelo foi ajustado com a função `glmer()` do pacote `lme4` (Bates et al., 2015), considerando os fatores fixos local, clone e recipiente, o efeito aleatório de bloco aninhado em local, conforme o modelo:

$$\text{logit}(p_{ijkl}) = \beta_0 + S_k + C_l + V_m + (S \times C)_{kl} + (S \times V)_{km} + (C \times V)_{lm} + (S \times C \times V)_{klm} + \alpha_{j(k)} + \varepsilon_{ijkl}$$

Em que: p_{ijkl} : probabilidade de sobrevivência; β_0 : intercepto; S_k , C_l e V_m : efeitos fixos de local, clone e volume do recipiente, respectivamente; os termos entre parênteses representam suas interações; $\alpha_{j(k)}$: efeito aleatório do bloco aninhado dentro do local; ε_{ijkl} : erro aleatório.

As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade, utilizando o software R version 4.5.1 (R Core Team 2025), e os gráficos criados por meio do pacote ggplot2 (Wickham, 2016).

1.3 Resultados

1.3.1 Homogeneidade de variâncias entre locais

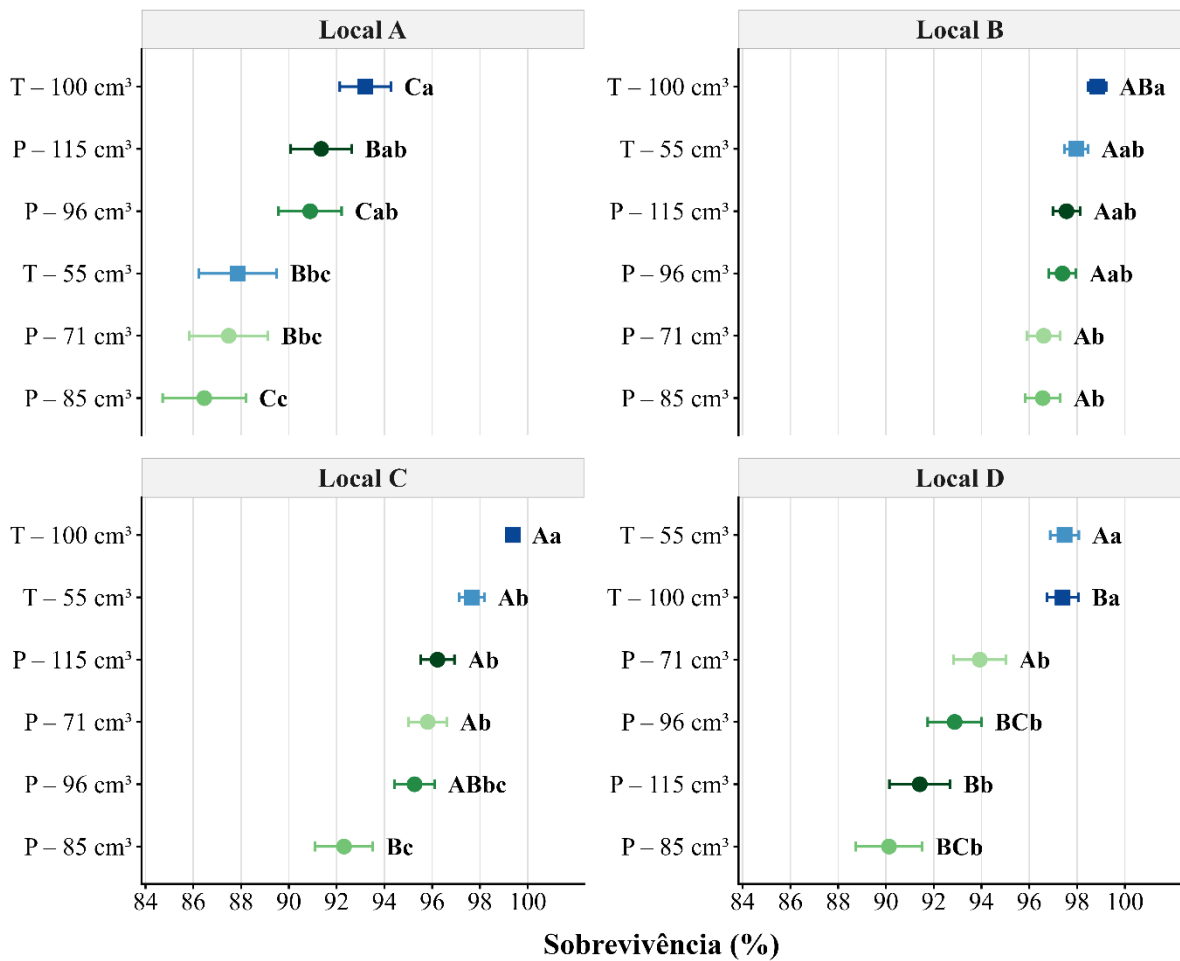
As variáveis altura (razão QMRes = 3,8) e taxa de crescimento relativo (TCR) (razão QMRes = 2,7) apresentaram homogeneidade de variâncias, permitindo a realização das análises conjuntas entre locais. Em contraste, o diâmetro à altura do peito (DAP) apresentou razão de 11,5, superior ao limite de 7 recomendado, indicando heterogeneidade de variâncias e justificando a análise separada por local.

1.3.2 Taxa de sobrevivência

O GLMM indicou que todos os fatores principais e suas interações influenciaram significativamente a sobrevivência das mudas. Apesar de a interação tripla ter sido significativa, as interações duplas (local \times recipiente, local \times clone e clone \times recipiente) foram consideradas na apresentação dos resultados, por possibilitarem uma interpretação mais clara e objetiva dos padrões associados ao estabelecimento inicial.

A sobrevivência aos 30 dias variou entre os locais, indicando que a resposta ao tipo e volume de recipiente não foi uniforme entre os ambientes de implantação (Figura 4). Dentro de cada local, também foram observadas diferenças entre recipientes. No Local A, as plantas produzidas em tubete de 100 cm³ apresentaram a maior média de sobrevivência. As plantas produzidas em *paperpots* de 115 e 96 cm³ ocuparam posição intermediária, sem diferir do grupo superior, enquanto as produzidas em tubete de 55 cm³ e em *paperpot* de 71 cm³ apresentaram resposta intermediária, sem diferir das produzidas em *paperpots* de 115 e 96 cm³ nem das produzidas em *paperpot* de 85 cm³, que registrou a menor média.

Figura 4 - Taxa de sobrevivência (%) de clones de *Eucalyptus* aos 30 dias após o plantio, em função da interação entre locais e recipientes. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Letras minúsculas comparam recipientes dentro de cada local, e letras maiúsculas comparam o mesmo recipiente entre locais. Pontos representam as médias e as barras horizontais indicam o erro-padrão da média (EP). T = tubete; P = *paperpot*.



Fonte: Próprio autor (2026)

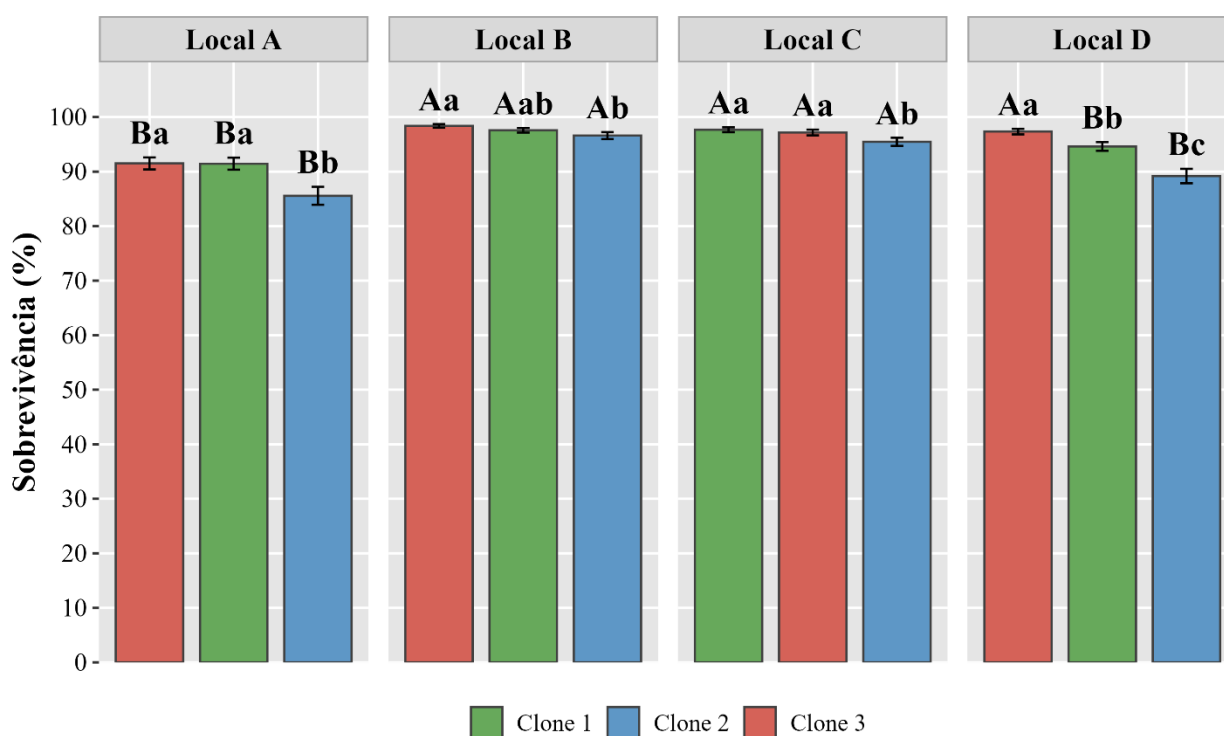
No Local B, as plantas produzidas em tubete de 100 cm³ apresentaram a maior média de sobrevivência, enquanto as produzidas em tubete de 55 cm³ e em *paperpots* de 115 e 96 cm³ ocuparam posição intermediária, e as plantas produzidas em *paperpots* de 71 e 85 cm³ compuseram o grupo de menores médias. No Local C, as plantas produzidas em tubete de 100 cm³ apresentaram a maior média, enquanto aquelas produzidas em tubete de 55 cm³ e em *paperpots* de 115 e 71 cm³ compuseram o grupo intermediário. As plantas produzidas em *paperpot* de 96 cm³ ocuparam posição intermediária inferior, e as plantas produzidas em *paperpot* de 85 cm³ registraram a menor média. No Local D, as plantas produzidas em tubetes de 55 e 100 cm³ apresentaram as maiores médias de sobrevivência, enquanto aquelas produzidas em *paperpots* de 71, 96, 115 e 85 cm³ compuseram o grupo de menores médias.

Entre os recipientes avaliados, as plantas produzidas em *paperpot* de 71 cm³ apresentaram sobrevivência estatisticamente semelhante à das produzidas em recipiente convencional tubete de 55 cm³ nos Locais A, B e C, enquanto no Local D, caracterizado pela maior profundidade do lençol freático, foi observada diferença entre ambos, com vantagem de

3,55 pontos percentuais para as plantas produzidas em tubete de 55 cm³. Entre os locais, esses dois recipientes apresentaram o mesmo padrão de resposta, com maiores médias nos Locais B, C e D e menor média no Local A.

A sobrevivência aos 30 dias variou em função da interação entre locais e clones (Figura 5). Dentro de cada local, diferenças entre clones foram observadas. No Local A, os Clones 1 e 3 apresentaram sobrevivência semelhante e superior à do Clone 2. No Local B, o Clone 3 apresentou a maior média de sobrevivência, o Clone 1 ocupou posição intermediária, sem diferir estatisticamente dos demais, e o Clone 2 apresentou a menor média.

Figura 5 - Taxa de sobrevivência (%) de clones de *Eucalyptus* aos 30 dias após o plantio (DAP), em função da interação entre locais e clones. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Letras minúsculas comparam clones dentro de cada local, e letras maiúsculas comparam o mesmo clone entre locais. Barras representam o erro-padrão da média (EP).



Fonte: Próprio autor (2026)

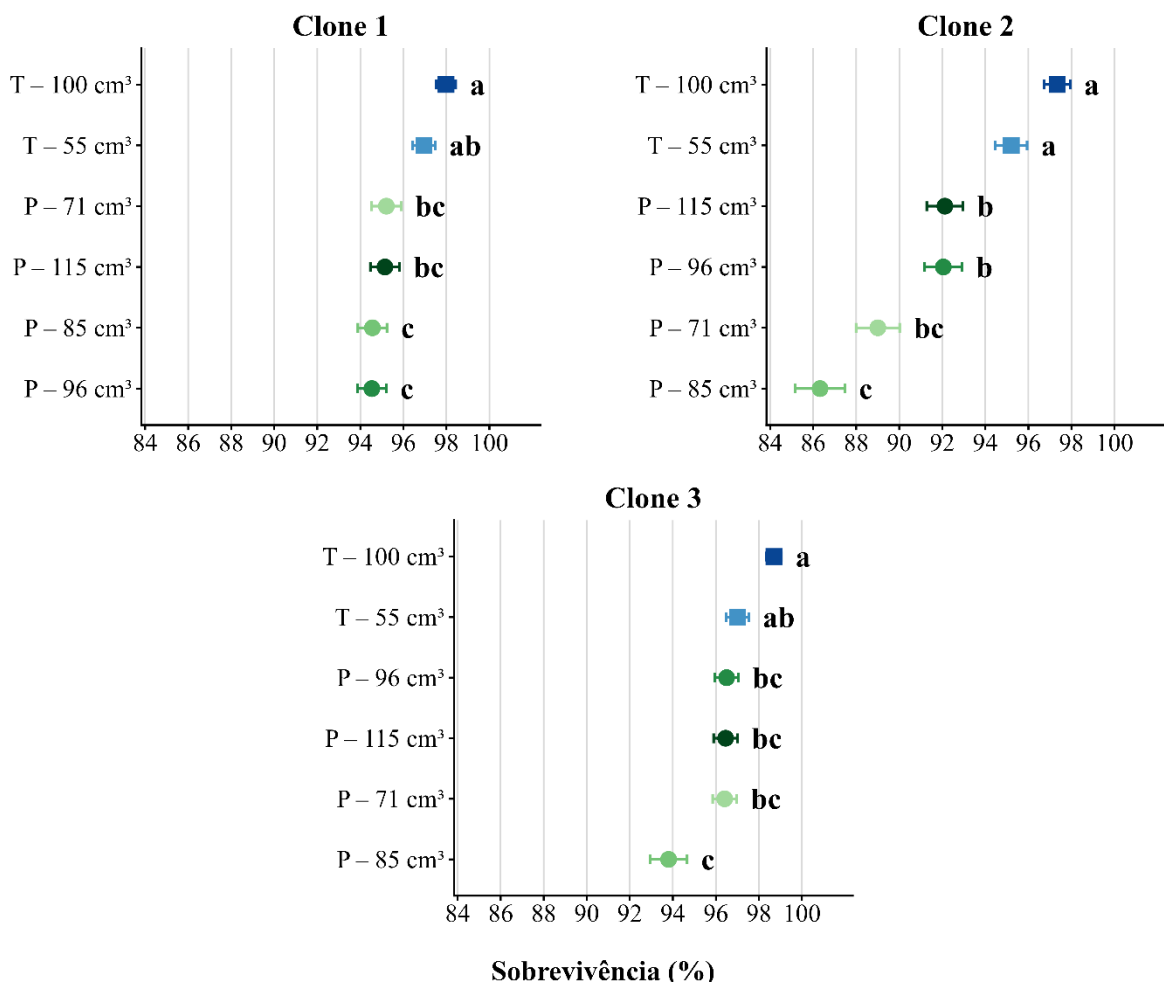
No Local C, os Clones 1 e 3 apresentaram sobrevivência semelhante e superior à do Clone 2. No Local D, a diferenciação entre genótipos foi mais evidente, com o Clone 3 apresentando a maior sobrevivência, o Clone 1 valor intermediário e o Clone 2 a menor média (Figura 5).

Entre os locais, o Clone 3 apresentou comportamento mais homogêneo, com resposta estatisticamente semelhante nos Locais B, C e D, diferindo apenas do Local A. Para os clones

1 e 2, os Locais A e D integraram o mesmo grupo estatístico, enquanto os maiores valores de sobrevivência foram observados nos Locais B e C (Figura 5).

As taxas de sobrevivência variaram entre recipientes dentro de cada clone (Figura 6). Para o Clone 1, as plantas produzidas em tubete de 100 cm³ apresentaram a maior média de sobrevivência, sem diferir das produzidas em tubete de 55 cm³, enquanto aquelas produzidas em *paperpots* de 71 e 115 cm³ ocuparam posição intermediária, e as produzidas em *paperpots* de 85 e 96 cm³ compuseram o grupo de menores médias.

Figura 6 - Taxa de sobrevivência (%) de clones de *Eucalyptus* aos 30 dias após o plantio, em função da interação entre clones e recipientes. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Pontos representam as médias e as barras horizontais indicam o erro-padrão da média (EP). T = tubete; P = *paperpot*.



Fonte: Próprio autor (2026)

Para o Clone 2, as plantas produzidas em tubetes de 55 e 100 cm³ compuseram o grupo superior, seguidos daquelas produzidas em *paperpots* de 96 e 115 cm³, enquanto as produzidas em *paperpot* de 71 cm³ ocupou posição intermediária inferior, e as produzidas em *paperpot* de

85 cm³ apresentaram a menor média de sobrevivência. No Clone 3, as plantas produzidas em tubete de 100 cm³ apresentou a maior média, sem diferir daquelas produzidas em tubete de 55 cm³, ao passo que as produzidas em *paperpots* compuseram grupos intermediários ou inferiores, com menor valor observado nas plantas produzidas em *paperpot* de 85 cm³ (Figura 6).

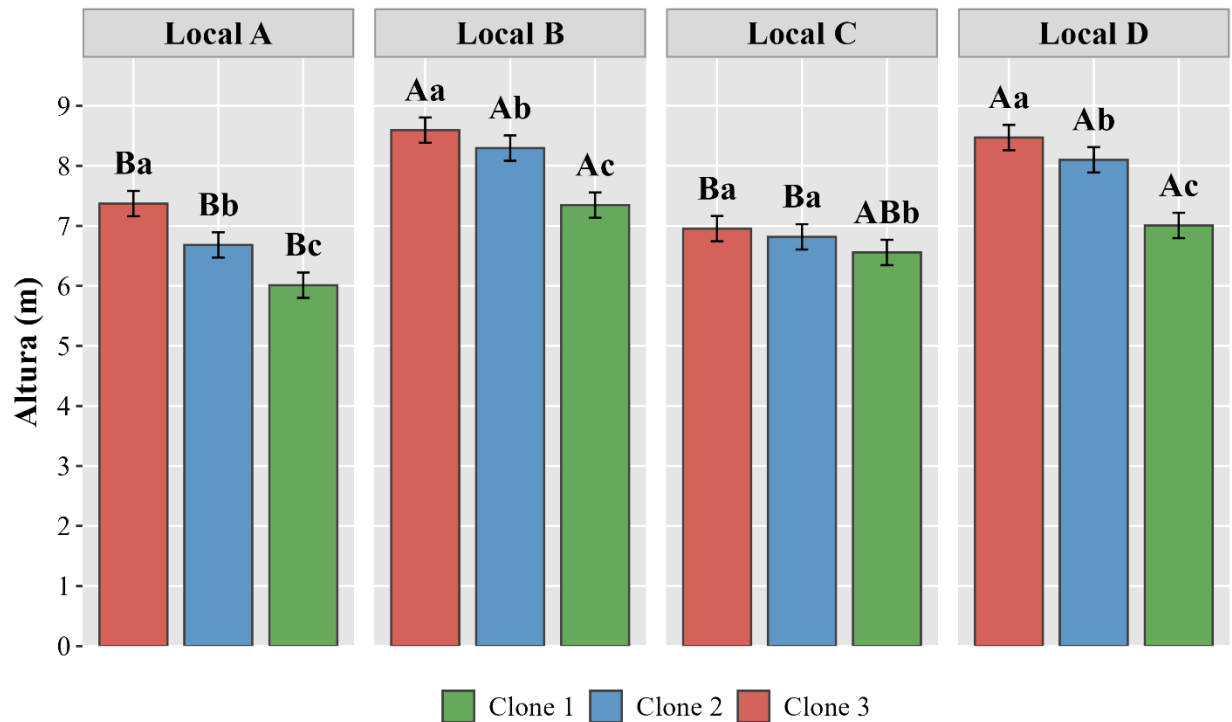
Entre os recipientes avaliados, as plantas produzidas em *paperpot* de 71 cm³ apresentaram sobrevivência estatisticamente semelhante à das plantas produzidas em recipiente convencional tubete de 55 cm³ nos Clones 1 e 3, enquanto, no Clone 2, foi observada diferença entre ambos, com vantagem de 6,20 pontos percentuais para as plantas produzidas em tubete de 55 cm³ (Figura 6).

1.3.3 Crescimento em altura

Os fatores local, clone e recipiente apresentaram efeito significativo sobre a altura das plantas, assim como a interação local x clone; as demais interações não foram significativas.

A altura aos 12 meses variou em função da interação entre locais e clones (Figura 7). Dentro de cada local, diferenças entre clones foram observadas. Nos Locais A, B e D, o Clone 3 apresentou a maior média de altura, seguido pelo Clone 2 e, por último, pelo Clone 1. No Local C, os Clones 2 e 3 apresentaram médias semelhantes e superiores à do Clone 1.

Figura 7 - Altura média (m) de clones de *Eucalyptus* aos 12 meses após o plantio, em função da interação entre locais e clones. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Letras minúsculas comparam clones dentro de cada local, e letras maiúsculas comparam o mesmo clone entre locais. Barras representam o erro-padrão da média (EP).



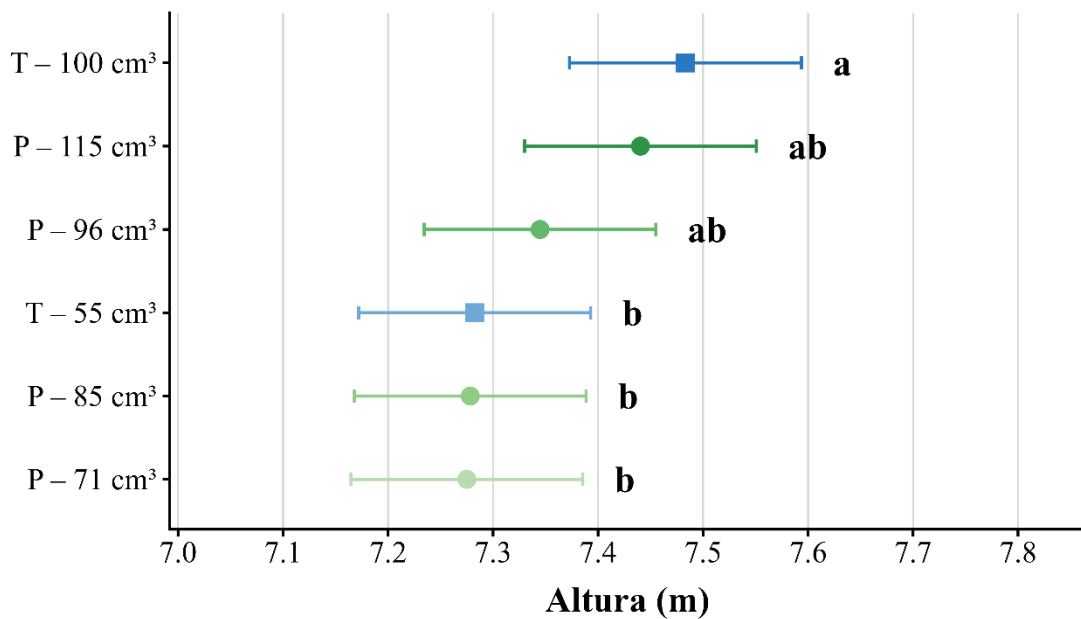
Fonte: Próprio autor (2026)

Entre os locais, os Clones 2 e 3 apresentaram padrão semelhante, com maiores médias de altura nos Locais B e D e menores nos Locais A e C. Para o Clone 1, os maiores valores também foram registrados nos Locais B e D, enquanto o Local A apresentou a menor média e o Local C ocupou posição intermediária (Figura 7).

O fator recipiente influenciou a altura das plantas aos 12 meses, com diferenças estatisticamente significativas entre os níveis avaliados (Figura 8). As plantas produzidas em tubete de 100 cm³ apresentaram a maior média de altura, sem diferir das produzidas em *paperpots* de 96 e 115 cm³. Aquelas produzidas em tubete de 55 cm³ e em *paperpots* de 71 e 85 cm³ compuseram o grupo de menores médias.

Dentro desse grupo, as plantas produzidas em *paperpot* de 71 cm³ apresentaram altura estatisticamente semelhante à das produzidas em recipiente convencional tubete de 55 cm³ (Figura 8).

Figura 8 - Altura média (m) de clones de *Eucalyptus* aos 12 meses após o plantio, em função do tipo de recipiente. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Pontos representam as médias e as barras horizontais indicam o erro-padrão da média (EP). T = tubete; P = *paperpot*.



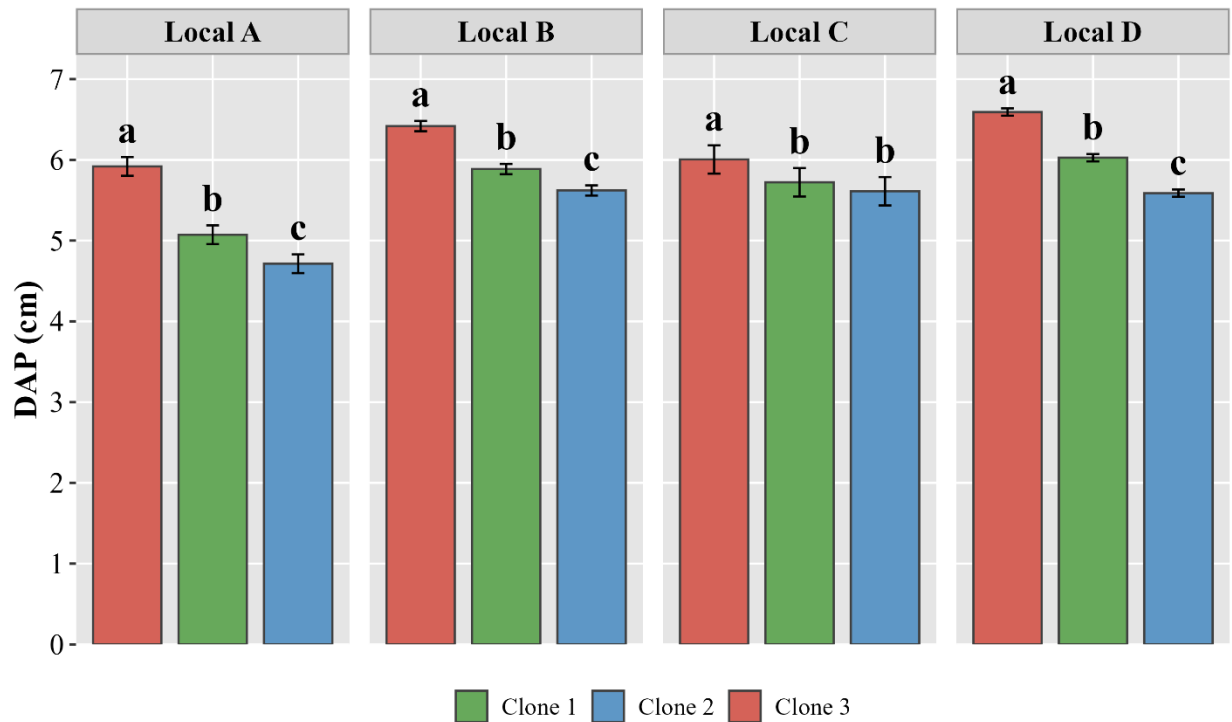
Fonte: Próprio autor (2026)

1.3.4 Crescimento em diâmetro à altura do peito (DAP)

A análise de variância, conduzida separadamente para cada local, indicou efeito significativo do fator clone em todos os ambientes avaliados. O fator recipiente também apresentou efeito significativo nos locais A, B e D.

Os valores de DAP diferiram entre os clones dentro de cada local (Figura 9). Nos Locais A, B e D, o Clone 3 apresentou as maiores médias de diâmetro, seguido pelo Clone 1 e, por último, pelo Clone 2. No Local C, o Clone 3 apresentou a maior média, enquanto os Clones 1 e 2 não diferiram entre si.

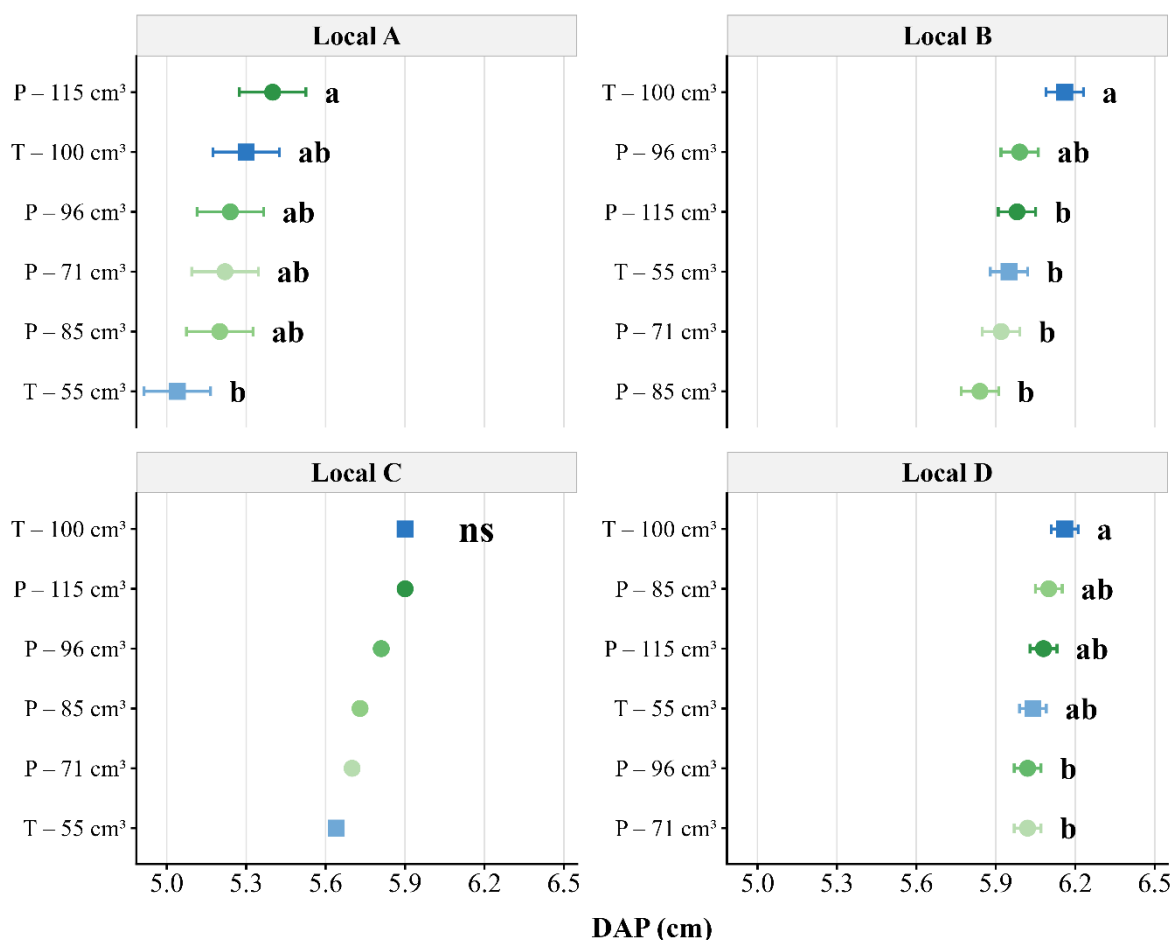
Figura 9 - Diâmetro médio à altura do peito (cm) de plantas clonais de *Eucalyptus* aos 12 meses após o plantio, em função do clone em cada local. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Barras representam o erro-padrão da média (EP).



Fonte: Próprio autor (2026)

Os valores de DAP variaram entre os recipientes dentro de cada local (Figura 10). No Local A, as plantas produzidas em *paperpot* de 115 cm³ apresentaram o maior valor de diâmetro, enquanto aquelas produzidas em tubete de 55 cm³ apresentaram o menor. As produzidas em tubete de 100 cm³ e em *paperpots* de 96, 71 e 85 cm³ ocuparam a posição intermediária.

Figura 10 - Diâmetro médio à altura do peito (cm) de clones de *Eucalyptus* aos 12 meses após o plantio, em função entre locais e recipientes. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Pontos representam as médias e as barras horizontais indicam o erro-padrão da média (EP). T = tubete; P = *paperpot*; ns = não significativo.



Fonte: Próprio autor (2026)

No Local B, as plantas produzidas em tubete de 100 cm³ apresentaram o maior valor de DAP, enquanto as produzidas em *paperpot* de 96 cm³ ocuparam posição intermediária. As produzidas em tubete de 55 cm³ e em *paperpots* de 115, 71 e 85 cm³ compuseram o grupo de menores médias. No Local D, as plantas produzidas em tubete de 100 cm³ apresentaram o maior valor de DAP, enquanto aquelas produzidas em *paperpots* de 85 e 115 cm³ e em tubete de 55 cm³ ocuparam posição intermediária. As plantas produzidas em *paperpots* de 96 e 71 cm³ apresentaram os menores valores. No Local C, não foram detectadas diferenças estatisticamente significativas entre os recipientes (Figura 10).

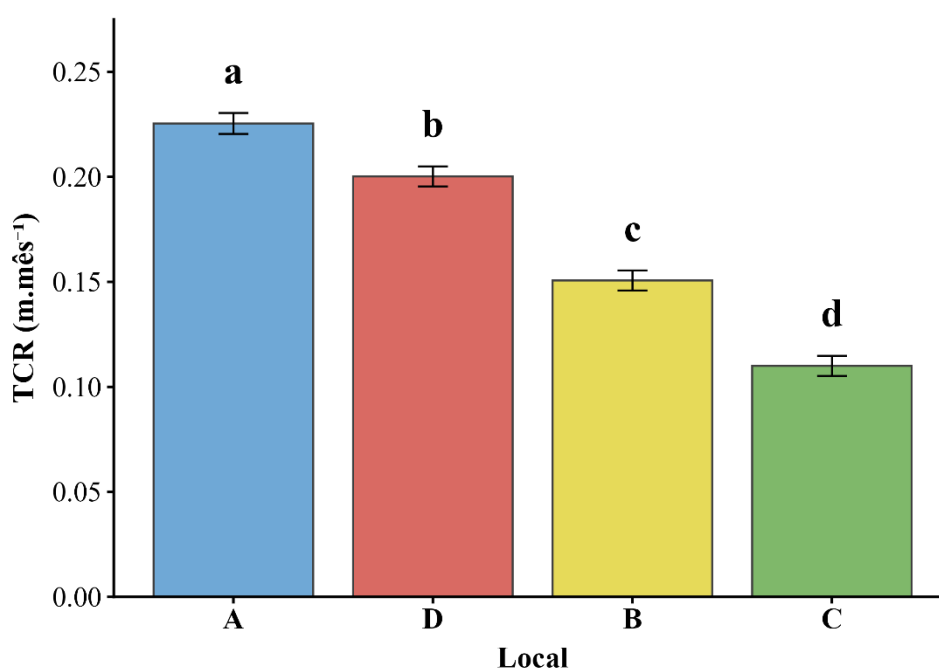
Em todos os locais avaliados, as plantas produzidas em *paperpot* de 71 cm³ apresentaram valores de DAP estatisticamente semelhantes as das produzidas em recipiente convencional tubete de 55 cm³ (Figura 10).

1.3.5 Crescimento na taxa de crescimento relativo

A análise de variância conjunta indicou efeito significativo dos fator local sobre a taxa de crescimento relativo (TCR). Os fatores clone e recipiente, assim como as interações entre os fatores avaliados, não apresentaram efeito significativo.

Os valores de TCR diferiram entre os locais avaliados (Figura 11). O Local A apresentou a maior média de crescimento relativo, seguido pelo Local D, pelo Local B e, por último, pelo Local C, com diferença estatística entre todos os ambientes.

Figura 11 - Taxa média de crescimento relativo ($m.mês^{-1}$) de clones de *Eucalyptus* em função do local. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Barras representam o erro-padrão da média (EP).



Fonte: Próprio autor (2026)

1.4 Discussão

1.4.1 Taxa de sobrevivência

Na interação entre local e recipiente, as plantas produzidas em recipientes plásticos apresentaram, de modo geral, maior estabilidade de sobrevivência. Esse comportamento sugere que, nas primeiras semanas após o plantio, a maior rigidez estrutural e a melhor manutenção do torrão podem ter favorecido a proteção do sistema radicular e a estabilidade hídrica imediata das mudas, conforme relatado para recipientes convencionais plantio (Cury et al., 2024; Islam et al., 2019; Menegatti et al., 2017). Entre os recipientes degradáveis, plantas produzidas em *paperpot* de 71 cm³ apresentaram resposta de sobrevivência semelhante à daquelas produzidas em recipiente convencional tubete de 55 cm³ na maior parte dos ambientes, o que reforça seu

potencial como alternativa técnica. Esse padrão é coerente com observações de Fanola et al. (2023), que destacam a viabilidade de recipientes degradáveis durante a fase inicial de estabelecimento. No entanto, no Local D, as plantas produzidas em tubete apresentaram maior sobrevivência, indicando que o desempenho do *paperpot* de 71 cm³ foi mais dependente das condições de implantação nesse ambiente. De forma complementar, a equivalência entre o *paperpot* de 71 cm³ e o tubete de 55 cm³ não foi uniforme entre os clones, indicando que a resposta ao recipiente variou mesmo entre materiais com base genética semelhante. Esse padrão reforça que diferenças na plasticidade inicial dos clones podem modificar a resposta ao tipo de recipiente nas condições de implantação, em concordância com (Oliveira et al. 2020).

Nesse contexto, a sobrevivência inicial refletiu a interação entre ambiente e genótipo. O comportamento mais estável do Clone 3, em contraste com a maior variação observada nos Clones 1 e 2, sugere que a resposta dos genótipos foi modulada pelas condições de implantação. Considerando que o período inicial coincidiu com déficit hídrico nos dois primeiros meses após o plantio, esse padrão indica que, em plantios jovens, a sobrevivência esteve mais associada às condições imediatas de estabelecimento. Essa interpretação é compatível com estudos que apontam modulação ambiental da resposta inicial de diferentes genótipos em plantios de *Eucalyptus* spp. (Amâncio et al., 2020; Hechter et al., 2022; Oliveira et al., 2020). Nessa fase, o sistema radicular ainda se encontra predominantemente restrito às camadas superficiais do solo, fazendo com que a sobrevivência dependa principalmente da umidade disponível nessa zona e das chuvas ocorridas no período imediatamente após o plantio (Grossnickle, 2012; Grossnickle 2018).

1.4.2 Crescimento

Para o crescimento em altura, o principal aspecto relacionado aos recipientes foi o desempenho semelhante entre plantas produzidas em *paperpot* de 71 cm³ e aquelas produzidas em tubete convencional de 55 cm³, indicando que o recipiente degradável, mesmo em menor volume, sustentou resposta semelhante à do recipiente convencional. Esse resultado é coerente com estudos que relatam desempenho satisfatório de recipientes degradáveis na fase inicial de crescimento das plantas em campo (Fanola et al., 2023; Santos et al., 2024).

Do ponto de vista ambiental, as diferenças de altura entre os locais sugerem associação com a dinâmica hídrica das camadas superficiais do solo ao longo do ciclo avaliado. Nessa fase, a resposta em altura pode estar relacionada à disponibilidade hídrica nessa camada, explorada predominantemente pelo sistema radicular jovem, em consonância com Marden et al. (2016); Ciruzzi & Loheide (2021). Assim, o padrão observado não reproduz integralmente o descrito

por Stape & Alvares (2025), para povoamentos mais desenvolvidos, nos quais menores profundidades do lençol freático estiveram associadas a maior crescimento em escala de rotação.

Em relação aos clones, os resultados reforçam que, mesmo entre genótipos pertencentes ao mesmo grupo híbrido *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla*, houve diferenças na forma como o crescimento inicial foi modulado pelo ambiente de implantação. O comportamento mais estável do Clone 3 sugere maior consistência de desempenho nas condições avaliadas, enquanto os demais genótipos apresentaram resposta mais variável entre os ambientes. Esse padrão é coerente com a literatura que aponta que, mesmo entre clones híbridos geneticamente próximos, podem ocorrer diferenças de vigor e plasticidade de crescimento em função da interação genótipo × ambiente (Flores et al. 2018; Fernandes et al. 2018; Oliveira et al. 2020).

Para o crescimento em diâmetro, observou-se padrão semelhante ao registrado para a altura, com comportamento semelhante entre plantas produzidas em *paperpot* de 71 cm³ e em tubete de 55 cm³ em todos os locais avaliados. Essa convergência entre as duas variáveis reforça que o recipiente degradável, mesmo em menor volume, manteve desempenho semelhante ao do recipiente convencional de 55 cm³ na fase inicial de crescimento inicial das plantas em campo, em concordância com estudos que relatam desempenho satisfatório de recipientes degradáveis nessa fase (Fanola et al., 2023; Santos et al., 2024).

Em relação aos clones, a superioridade recorrente do Clone 3 em diâmetro reforça o padrão já observado para a altura e indica que, mesmo entre genótipos pertencentes ao mesmo grupo híbrido *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla*, podem ocorrer diferenças consistentes de vigor inicial. Esse resultado sugere que a maior expressão de crescimento radial do Clone 3 se manteve ao longo do primeiro ano após o plantio, enquanto os demais genótipos apresentaram incrementos inferiores em diâmetro. Esse comportamento é coerente com a literatura que relata variação de desempenho entre genótipos geneticamente próximos em função de diferenças de vigor e da interação genótipo × ambiente (Oliveira et al. 2020; Assis et al. 2016).

As diferenças observadas na taxa de crescimento relativo sugerem que a TCR foi condicionada pelo conjunto das condições edafoclimáticas de implantação, mais do que por um fator ambiental isolado. Em solos arenosos de baixa retenção hídrica, como os Neossolos Quartzarênicos, a disponibilidade de água nas camadas superficiais do solo pode influenciar o crescimento inicial das plantas. Nesse contexto, a resposta da TCR parece ter refletido

principalmente a disponibilidade hídrica na zona explorada pelo sistema radicular jovem ao longo do ciclo avaliado (Júnior et al., 2020; Müller et al., 2020; Rocha et al., 2022).

1.5 Conclusão

Sob restrição hídrica inicial, o tipo e o volume dos recipientes, assim como o genótipo, influenciaram o desempenho inicial em campo de clones de *Eucalyptus*. Para as variáveis de crescimento, as plantas produzidas em *paperpot* de 71 cm³ apresentaram desempenho semelhante ao das produzidas em tubete convencional de 55 cm³. Quanto à sobrevivência inicial, as plantas produzidas em *paperpot* de 71 cm³ apresentaram resposta semelhante à daquelas produzidas em tubete de 55 cm³ na maior parte dos ambientes avaliados, com diferença observada apenas no local caracterizado pela maior profundidade do lençol freático (Local D). Entre os genótipos avaliados, o Clone 3 apresentou desempenho inicial superior em relação aos demais. Assim, nas condições avaliadas, o *paperpot* de 71 cm³ configurou-se como alternativa tecnicamente viável ao tubete de 55 cm³ para a produção de mudas clonais considerando o estabelecimento inicial em campo.

1.6 Referências

- ABREU, Alan Henrique Marques *et al.* Produção de mudas e crescimento inicial em campo de *Enterolobium contortisiliquum* produzidas em diferentes recipientes. **Floresta**, v. 45, n. 1, p. 141–150, 2015. <https://doi.org/10.5380/ufv.v45i1.28931>
- ALFENAS, A. C. *et al.* Doenças causadas por agentes bióticos ou infecciosos. In: ALFENAS, A. C. *et al.* **Clonagem e doenças do eucalipto**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2009. p. 207–319.
- AMÂNCIO, Marcos Rafael *et al.* Genetic control of coppice regrowth in *Eucalyptus* spp. **Silvae Genetica**, v. 69, n. 1, p. 6–12, 2020. <https://doi.org/10.2478/sg-2020-0002>
- ASSIS, T. F. de; ABAD, J. I. M.; AGUIAR, A. M. Melhoramento genético do eucalipto. In: SCHUMACHER, M. V.; VIEIRA, M. (ed.). **Silvicultura do eucalipto no Brasil**. Santa Maria, RS: Ed. da UFSM, 2015. p. 217–244.
- BATES, Douglas *et al.* Fitting linear mixed-effects models using lme4. **Journal of Statistical Software**, v. 67, n. 1, p. 1–48, 2015. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- CALDEIRA, M. V. W.; GONÇALVES, E. O.; WENDLING, I.; MARTINS, R. C. C. Produção de mudas. In: SCHUMACHER, M. V.; VIEIRA, M. (org.). **Silvicultura do eucalipto no Brasil**. Santa Maria, RS: UFSM, 2015. v. 1, p. 49–82.
- CURY, Letícia Duron *et al.* Growth of *Eucalyptus urophylla* seedlings produced in conventional and water collection trays in degradable tube and polypropylene systems. **Ciência Florestal**, v. 34, n. 2, p. e73734, 2024. <https://doi.org/10.5902/1980509873734>

DAVIS, Anthony S.; PINTO, Jeremiah R. The scientific basis of the target plant concept: an overview. **Forests**, v. 12, n. 9, p. 1293, 2021. <https://doi.org/10.3390/f12091293>

ELLI, Elvis Felipe *et al.* Global sensitivity-based modelling approach to identify suitable *Eucalyptus* traits for adaptation to climate variability and change. **In Silico Plants**, v. 2, n. 1, p. 1–17, 2020. <https://doi.org/10.1093/insilicoplants/diaa003>

FANOLA, Hannah Cristina Botelho Lima *et al.* Efeitos de diferentes recipientes e idades de expedição na qualidade de mudas clonais de eucalipto. **DELOS: Desarrollo Local Sostenible**, v. 16, n. 47, p. 2952–2964, 2023. <https://doi.org/10.55905/rdelosv16.n47-028>

FERNANDES, Jamily Silva; JÚNIOR, Valdemiro Conceição; BARRETO-GARCIA, Patrícia Anjos Bittencourt. Field performance of *Eucalyptus* hybrids at Planalto da Conquista, Bahia, Brazil. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 2, p. e20160594, 2018. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.059416>

FLORES, Thiago Bevilacqua *et al.* *Eucalyptus* in Brazil Climatic Zoning and Identification Guide. [S.l.]: IPEF, 2018. 447 p. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/guiaecalyptus/en/>. Acesso em: 22 dez. 2025.

GROSSNICKLE, Steven 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>

GROSSNICKLE, Steven C. Seedling establishment on a forest restoration site - an ecophysiological perspective. **Reforesta**, v. 6, p. 110–139, 2018. <https://doi.org/10.21750/REFOR.6.09.62>

GUIMARÃES, Zilza Thayane Matos; LOPES, Lariany Falcão de Lima; FERREIRA, Marciel José. Productivity and stem quality of Amazon tree species: effects of initial seedling size and site preparation methods. **Forest Science**, v. 71, n. 1, p. 1–20, 2025. <https://doi.org/10.1007/S44391-024-00010-8>

GUIMARÃES, Zilza Thayane Matos; SILVA, Débora Coelho; FERREIRA, Marciel José. Seedling quality and short-term field performance of three Amazonian forest species as affected by site conditions. **IForest**, v. 17, n. 2, p. 80–89, 2024. <https://doi.org/10.3832/ifor4317-016>

HECHTER, Ullrich *et al.* Factors affecting eucalypt survival in South African plantation forestry. **Southern Forests**, v. 84, n. 3, p. 253-270, 2022. <https://doi.org/10.2989/20702620.2022.2147874>

IBÁ. Relatório Anual. [S.l.]: IBÁ, 2024. 99 p. Disponível em: <https://iba.org/wp-content/uploads/2025/05/relatorio2024.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2025.

ISLAM, MD Ariful; RAHMAN, MD Rayhanur; HOSSAIN, Mohammed Kamal. Effect of container and potting media on raising quality seedlings of *Acacia auriculiformis* in the nursery. **Asian Journal of Agriculture**, v. 3, n. 1, p. 26–32, 2019. <https://doi.org/10.13057/asianjagric/g030105>

JÚNIOR, Rogério Souza Nóia *et al.* Ecophysiological acclimatization to cyclic water stress in *Eucalyptus*. **Journal of Forestry Research**, v. 31, n. 3, p. 797–806, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11676-019-00926-9>

KULMANN, Matheus S. S. *et al.* Effects of phosphorus fertilizer application on phosphorus fractions in different organs of *Cordia trichotoma*. **Journal of Forestry Research**, v. 32, n. 2, p. 725–732, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01136-4>

LISBOA, Alysson Canabrava *et al.* Efeito do volume de tubetes na produção de mudas de *Calophyllum brasiliense* e *Toona ciliata*. **Revista Árvore**, v. 36, n. 4, p. 603–609, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622012000400003>

LOPES, Emerson Delano; AMARAL, Cláudio Lúcio Fernandes; NOVAES, Adalberto Brito. Desempenho no campo de mudas de *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus camaldulensis* e *Corymbia citriodora* produzidas em diferentes recipientes. **Floresta**, v. 44, n. 4, p. 589–596, 2014. <https://doi.org/10.5380/ufv.v44i4.26480>

MARDEN, Michael; ROWAN, Donna; LAMBIE, Suzanne. Root development and whole-tree allometry of juvenile trees of five seed lots of *Pinus radiata* D. Don: implications for forest establishment on erosion-prone terrain, East Coast region, North Island, New Zealand. **New Zealand Journal of Forestry Science**, v. 46, n. 24, 2016. <https://doi.org/10.1186/s40490-016-0082-y>

MATARUGA, Milan *et al.* Monitoring and control of forest seedling quality in Europe. **Forest Ecology and Management**, v. 546, p. 121308, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121308>

MENDONÇA, Andrea Vita Reis *et al.* Recipiente de fibras de *Attalea funifera* para produção de mudas de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 87, p. 245–252, 2016. <https://doi.org/10.4336/2016.pfb.36.87.1186>

MENEGATTI, Alexandre; ARRUDA, Guilherme Oliveira Santos Ferraz; NESI, Cristiano Nunes. O adubo de cama de aviário na produção e na qualidade de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Scientia Agraria**, v. 18, n. 1, p. 43–49, 2017. <https://doi.org/10.5380/rsa.v18i1.50741>

MÜLLER, Caroline *et al.* A physiological approach for pre-selection of *Eucalyptus* clones resistant to drought. **IForest**, v. 13, n. 1, p. 16–23, 2020. <https://doi.org/10.3832/ifor3185-012>

NAVARRO, Francisco B. *et al.* Interaction between weeding, outplanting date and site in open oak woodland plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 554, p. 121649, 2024. <https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2023.121649>

OLIVEIRA, Rodrigo Sousa *et al.* Evaluation of genetic parameters and clonal selection of *Eucalyptus* in the Cerrado region. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 20, n. 3, p. e29982031, 2020. <https://doi.org/10.1590/1984-70332020v20n3a35>

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. *As Nações Unidas no Brasil*, [s.d.]. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 21 abr. 2026.

PADILLA, F. M.; PUGNAIRE, F. I. Rooting depth and soil moisture control Mediterranean woody seedling survival during drought. **Functional Ecology**, v. 21, n. 3, p. 489–495, 2007. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2007.01267.x>

PAQUETTE, Alain; MESSIER, Christian. The role of plantations in managing the world's forests in the Anthropocene. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 8, n. 1, p. 27-34, 2010. <https://doi.org/10.1890/080116>

PARK, Byung Bae *et al.* The use of deep container and heterogeneous substrate as potentially effective nursery practice to produce good quality nodal seedlings of *Populus sibirica* Tausch. **Forests**, v. 12, n. 4, p. 418, 2021. <https://doi.org/10.3390/F12040418>

PHUNG, Thanh Khoa *et al.* (Bio)propylene production processes: a critical review. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, n. 4, p. 105673, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105673>

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

ROCHA, Maria Eunice Lima *et al.* Growth dynamics of container seedlings of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* and *Hymenaea courbaril* L. **Revista Ceres**, v. 69, n. 4, p. 425–435, 2022. <https://doi.org/10.1590/0034-737x202269040006>

SANTOS, Renan Alves; NOVAES, Adalberto Brito; SOUSA, Nilton José. Root and morphological characteristics of *Eucalyptus* seedlings produced in biodegradable containers. **Floresta**, v. 54, n. 1, p. e-81761, 2024. <https://doi.org/10.5380/RF.V54I1.81761>

SILVA, Ana Caroline Rodrigues *et al.* Biodegradable containers affect the morphological and nutritional aspects of *Eucalyptus urophylla* seedlings. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 49, p. e0240216, 2025. <https://doi.org/10.36783/18069657RBCS20240216>

SIQUEIRA, David Pessanha *et al.* Container size and site quality affect survival and early growth performance of New Zealand native tree species. **Journal of Forestry Research**, v. 36, n. 1, p. 51, 2025. <https://doi.org/10.1007/S11676-025-01851-W>

STAPE, José Luiz; ALVARES, Clayton Alcarde. Water table depth contributes to tropical *Eucalyptus* plantation yields in sandstone-derived landscapes. **Forest Ecology and Management**, v. 589, p. 122771, 1 ago. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2025.122771>

TIAN, Ning *et al.* Influence of container type and growth medium on seedling growth and root morphology of *Cyclocarya paliurus* during nursery culture. **Forests**, v. 8, n. 10, p. 387, 2017. <https://doi.org/10.3390/f8100387>

WENDLING, I. et al. Produção de mudas de eucalipto. In: WENDLING, I. et al. O eucalipto e a Embrapa: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento. Brasília: Embrapa Florestas, 2021. cap. 22, p. 823–859. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1131510>. Acesso em: 21 ago. 2025.

WICKHAM, Hadley. ggplot2: elegant graphics for data analysis. 2. ed. Cham: Springer, 2016. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24277-4>

ZAVISTANOVICZ, Thairini Claudino *et al.* Nursery and field growths of *Enterolobium contortisiliquum* seedlings produced in different containers and fertilizer doses. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, n. 3, p. 1–8, 2020. <https://doi.org/10.5039/agraria.v15i3a7507>

CAPÍTULO 2
DESEMPENHO INICIAL EM CAMPO DE CLONES DE *EUCALYPTUS* EM
FUNÇÃO DO TIPO E DO VOLUME DE RECIPIENTES SEM RESTRIÇÃO
HÍDRICA INICIAL

Resumo

A qualidade das mudas é um fator determinante para o estabelecimento inicial de plantações clonais de *Eucalyptus* em campo, e o tipo e o volume dos recipientes utilizados na sua produção podem influenciar esse desempenho. No entanto, a avaliação integrada desses fatores em diferentes locais de plantio, sob condições operacionais, ainda é limitada. Este estudo teve como objetivo avaliar o desempenho inicial em campo de clones de *Eucalyptus* em função do tipo e do volume dos recipientes utilizados na produção das mudas, comparando recipientes plásticos convencionais e alternativas degradáveis do sistema *paperpot* em condição sem restrição hídrica inicial, associada ao excedente hídrico observado no período de implantação. O experimento foi conduzido em três locais, sob delineamento em blocos casualizados, em arranjo fatorial 3×6 (três clones \times seis recipientes). A sobrevivência foi avaliada aos 30 dias após o plantio, enquanto altura e diâmetro à altura do peito (DAP) foram mensurados aos 12 meses, e a taxa de crescimento relativo (TCR) foi determinada com base nos incrementos em altura entre 3 e 12 meses. Para as variáveis de crescimento, as plantas produzidas em *paperpot* de 71 cm^3 apresentaram desempenho semelhante ao das produzidas em recipiente convencional tubete de 55 cm^3 para altura e DAP, e semelhante ou superior para a TCR, conforme o local avaliado. Quanto à sobrevivência inicial, as plantas produzidas em *paperpot* de 71 cm^3 apresentaram resposta semelhante à das produzidas em tubete de 55 cm^3 na maior parte dos ambientes avaliados, com diferença observada no Local C. Entre os genótipos avaliados, o Clone 3 apresentou desempenho inicial superior em relação aos demais. Com base nesses resultados, o *paperpot* de 71 cm^3 mostrou-se, nas condições avaliadas, alternativa tecnicamente viável para a produção de mudas clonais voltadas ao estabelecimento inicial em campo.

Palavras-chave: Qualidade de mudas; *paperpots*; estabelecimento florestal; híbridos de *Eucalyptus*; sem restrição hídrica inicial.

CHAPTER 2
**INITIAL FIELD PERFORMANCE OF *EUCALYPTUS* CLONES AS A FUNCTION OF
CONTAINER TYPE AND VOLUME WITHOUT INITIAL WATER RESTRICTION**

Abstract

Seedling quality is a key factor in the early establishment of clonal *Eucalyptus* plantations, and the type and volume of the containers used during seedling production may influence this performance. However, integrated evaluations of these factors across different sites under operational conditions remain limited. This study evaluated the early field performance of *Eucalyptus* clones as affected by container type and volume, comparing conventional plastic tubes with degradable paperpot alternatives under conditions without initial water restriction, associated with the water surplus observed during the initial establishment period. The experiment was conducted at three sites using a randomized complete block design in a 3×6 factorial arrangement (three clones \times six containers). Survival was assessed at 30 days after planting, whereas height and diameter at breast height (DBH) were measured at 12 months, and relative growth rate (RGR) was determined from height increments between 3 and 12 months. For height and DBH, plants produced in 71 cm³ paperpots showed performance similar to that of those produced in conventional 55 cm³ plastic tubes, and for RGR, similar or superior responses, depending on the site evaluated. For initial survival, plants produced in 71 cm³ paperpots showed a response similar to that of those produced in 55 cm³ tubes at most of the evaluated sites, with a difference observed at Site C. Among the evaluated genotypes, Clone 3 showed superior initial performance compared with the others. Under the evaluated conditions, the 71 cm³ paperpot proved to be a technically viable alternative for the production of clonal seedlings intended for early field establishment.

Keywords: Seedling quality; paperpots; forest establishment; *Eucalyptus* hybrids; no initial water restriction.

2.1 Introdução

As florestas plantadas desempenham papel estratégico na produção global de madeira, sustentando cadeias industriais que demandam elevada produtividade, ciclos curtos e estabilidade operacional (Kulmann et al. 2021). Nesse contexto, plantações clonais de *Eucalyptus* spp. destacam-se, especialmente em regiões tropicais, onde a combinação entre condições edafoclimáticas favoráveis, melhoramento genético e avanços no manejo tem permitido expressivos ganhos de produtividade (Paquette & Messier 2010; Binkley et al. 2017; IBÁ 2024). No Brasil, o sucesso dessas plantações está fortemente associado à eficiência do estabelecimento inicial, etapa determinante para a uniformidade e o desempenho futuro dos povoamentos (Elli et al. 2020).

O estabelecimento em campo é reconhecido como uma fase crítica do ciclo produtivo, na qual a sobrevivência e o crescimento inicial condicionam o rendimento florestal em idades posteriores (Guimarães et al. 2025). Nesse processo, a qualidade das mudas produzidas em viveiro exerce papel central, sendo influenciada por fatores como genótipo, manejo nutricional e, de forma relevante, pelo tipo e volume dos recipientes utilizados durante a produção (Park et al. 2021). Adicionalmente, atributos morfológicos das mudas produzidas em viveiro têm sido amplamente reconhecidos como indicadores do potencial de sobrevivência após o plantio, especialmente em condições ambientais restritivas (Grossnickle 2012; Ivetić et al. 2016; Hechter et al. 2022).

A produção de mudas clonais de *Eucalyptus* spp. tem sido baseada em tubetes plásticos reutilizáveis, amplamente adotados pela durabilidade e compatibilidade com sistemas mecanizados de plantio e logística de transporte (Lisboa et al. 2012; Lopes et al. 2014). Contudo, esses recipientes apresentam limitações ambientais e logísticas, relacionadas à higienização, logística reversa e ao uso de polímeros derivados do petróleo, cujo descarte gera impactos ambientais relevantes (Mendonça et al. 2016; Phung et al. 2021).

Como alternativa, recipientes degradáveis à base de materiais celulósicos têm sido desenvolvidos com o objetivo de reduzir passivos ambientais e simplificar as operações de plantio (Alfnas et al. 2009). Entre essas tecnologias, os sistemas do tipo *paperpot* têm recebido destaque por permitirem o plantio direto, favorecerem a continuidade do crescimento radicular e reduzirem deformações estruturais do sistema radicular (Santos et al. 2024). Resultados em viveiro indicam vantagens morfofisiológicas associadas a esses recipientes (Freitas et al. 2013).

No entanto, seus efeitos sobre o desempenho inicial em campo ainda carecem de avaliação mais abrangente (Fanola et al. 2023; Siqueira et al. 2025). Apesar dos avanços tecnológicos, permanece limitada a compreensão sobre os efeitos combinados do tipo e do

volume dos recipientes, especialmente dos degradáveis, no desempenho inicial em campo de clones de *Eucalyptus* spp. (Silva et al. 2025). A maioria dos estudos concentra-se na fase de viveiro ou em avaliações pontuais, desconsiderando a variabilidade ambiental entre locais e a interação com o genótipo (Zavistanovicz et al. 2020). Além disso, são escassos os trabalhos conduzidos em múltiplos locais, que permitam compreender como recipientes, genótipos e condições edafoclimáticas interagem para determinar padrões de sobrevivência e crescimento inicial (Silva et al. 2017; Navarro et al. 2024).

Diante desse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o desempenho inicial em campo de clones de *Eucalyptus* em função do tipo e do volume dos recipientes utilizados na produção das mudas, comparando recipientes plásticos convencionais e alternativas degradáveis do sistema *paperpot* sob condição sem restrição hídrica inicial, associada ao excedente hídrico no período de implantação, e seus efeitos sobre a sobrevivência e o crescimento inicial das plantas em diferentes locais de plantio.

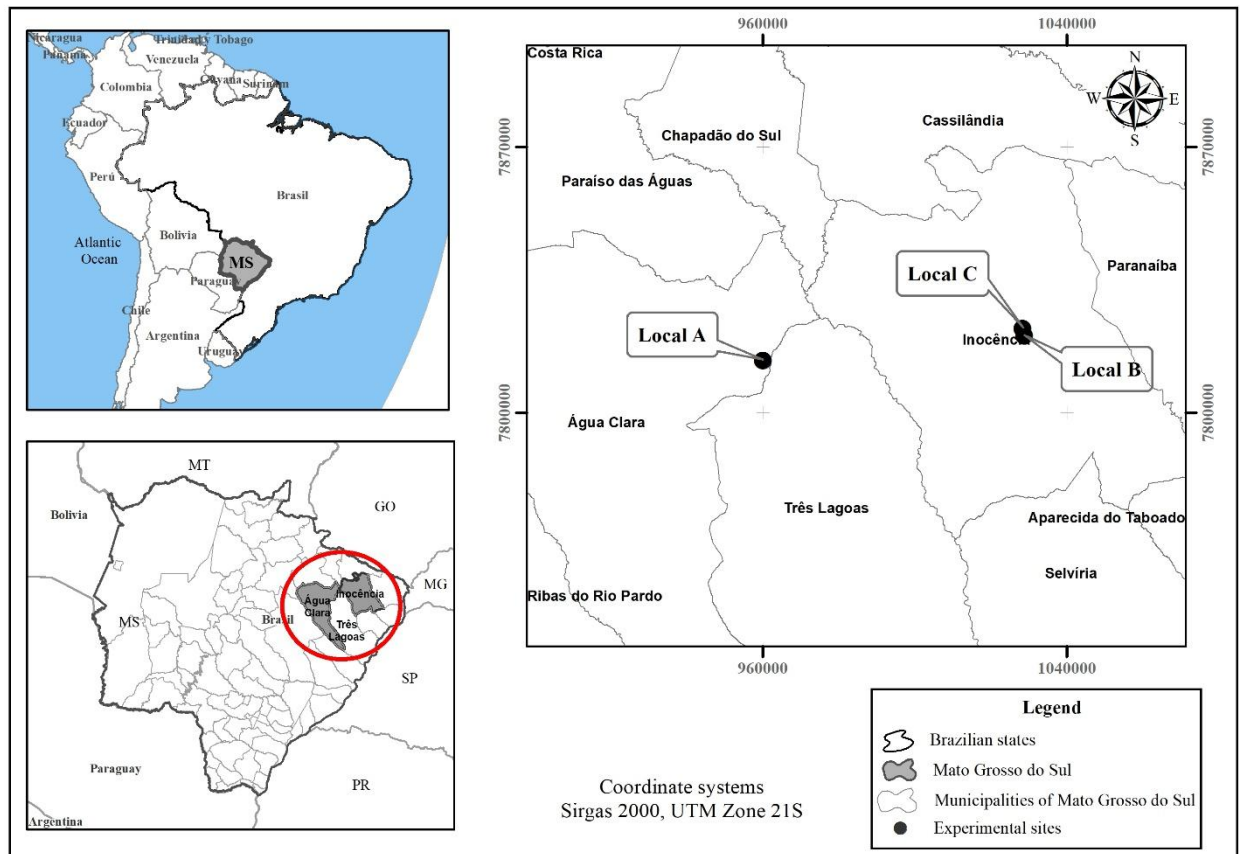
2.2 Material e métodos

2.2.1 Área de estudo e caracterização edafoclimática

O experimento foi conduzido em áreas comerciais da empresa Arauco Brasil, localizadas no estado de Mato Grosso do Sul, Brasil (Figura 12). A região é caracterizada por clima tropical com estação seca (Aw), segundo a classificação de Köppen, com verões quentes e chuvosos e invernos secos.

Dentro da área de estudo, foram selecionados três locais experimentais, denominados Local A, Local B e Local C (Figura 12), distribuídos em diferentes áreas operacionais da empresa.

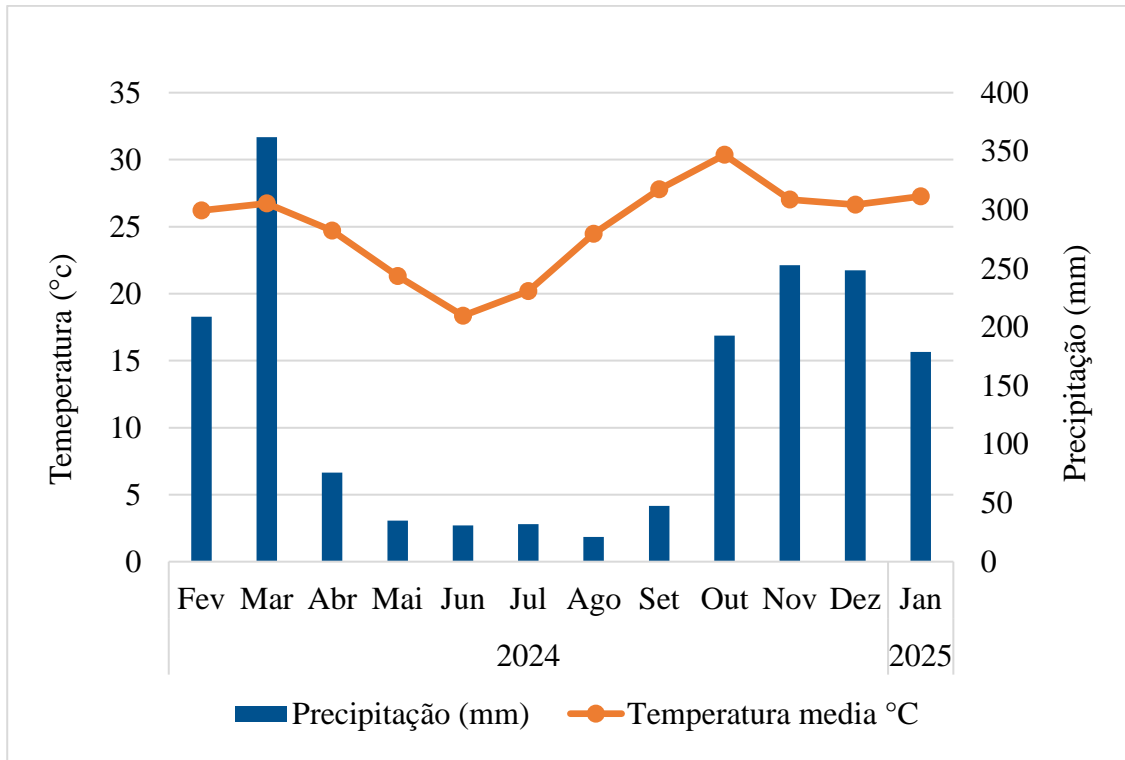
Figura 12 - Localização dos três locais experimentais no estado de Mato Grosso do Sul, Brasil.



Fonte: Próprio autor (2026)

Os dados climáticos foram obtidos a partir de estações meteorológicas localizadas a uma distância média de aproximadamente 78 km dos locais experimentais. As informações abrangeram o período de fevereiro de 2024 a janeiro de 2025, durante o qual a temperatura média anual foi de 25,1 °C e a precipitação acumulada totalizou 1.686,6 mm (Figura 13).

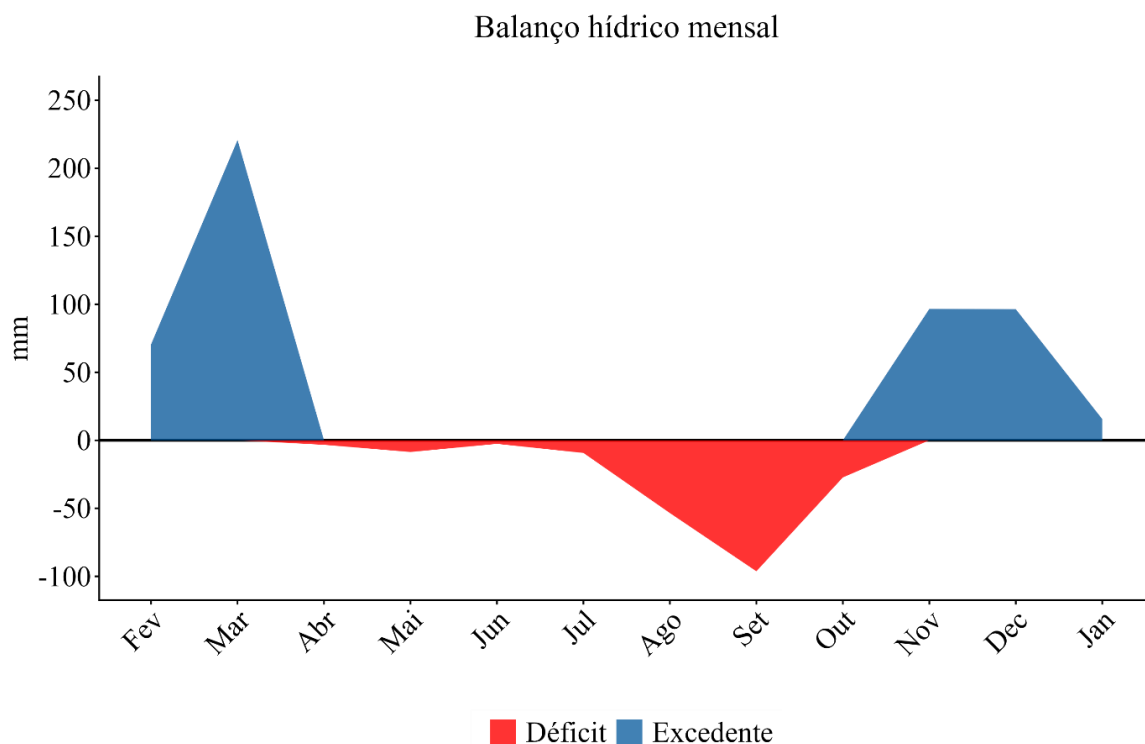
Figura 13 - Temperatura média mensal (°C) e precipitação acumulada (mm) no período de fevereiro de 2024 a janeiro de 2025 nos locais experimentais.



Fonte: Próprio autor (2026)

Ao longo do período avaliado, o balanço hídrico apresentou alternância bem definida entre excedente e déficit hídrico (Figura 14). A implantação do experimento ocorreu em fevereiro de 2024, período caracterizado por excedente hídrico, com registros de 70,6 e 220,8 mm em fevereiro e março, indicando elevada disponibilidade de água no solo. A partir de abril, o balanço passou a apresentar déficit hídrico contínuo, intensificando-se entre abril e outubro de 2024, com valores variando de -2,6 a -96,3 mm, caracterizando o período de maior restrição hídrica. Com o retorno das precipitações, em novembro e dezembro de 2024, o balanço voltou a apresentar excedente (96,6 e 96,4 mm), mantendo-se positivo em janeiro de 2025 (15,6 mm).

Figura 14 - Balanço hídrico, calculado pelo método de Thornthwaite e Mather (1995), referente ao período de fevereiro de 2024 a janeiro de 2025, considerando o excedente e o déficit hídrico.



Fonte: Próprio autor (2026)

As características edáficas dos locais experimentais são apresentadas na Table 1, evidenciando variações entre Neossolos pertencentes a diferentes grupos diagnósticos e classes texturais. A profundidade do lençol freático também variou entre os sítios, situando-se entre 15 e 25 m no Local A, entre 50 e 55 m no Local B e entre 45 e 50 m no Local C.

Tabela 1 - Classificação pedológica e classes texturais dos solos nos locais experimentais.

Local	Ordem	Sub-Ordem	Grande grupo	Sub-Grupo	Textura
A	Neossolo	Quartzoarênico	Órtico	Espessârenico	Arenosa 3
B	Neossolo	Vermelho-Amarelo	Distrófico	Típico	Média-arenosa
C	Neossolo	Vermelho	Distrófico	Típico	Média-arenosa

Fonte: Próprio autor (2026)

2.2.2 Produção das mudas

As mudas foram produzidas por miniestaquia a partir dos três clones avaliados. Foi utilizado substrato comercial Sphagnotec 05 classe A, composto por turfa de Sphagno, carbonato de cálcio, pó de coco e perlita, com adubação de base de $0,6 \text{ kg m}^{-3}$ de PGMIX NPK 14-16-18. Tanto os tubetes plásticos quanto os recipientes degradáveis do sistema *paperpot* foram utilizados com o mesmo substrato e a mesma adubação de base. Após o enraizamento e a aclimação, as mudas foram conduzidas à fase de crescimento e rustificação. Durante o

crescimento, receberam irrigação conforme as condições climáticas e adubação via fertirrigação, totalizando 24 aplicações, incluindo cinco aplicações de MAP em pó.

2.2.3 Implantação do experimento

A instalação do experimento foi precedida pela preparação do solo, que incluiu a subsolagem a 60 cm de profundidade, seguida da aplicação de 1,5 t ha⁻¹ de calcário dolomítico para correção da acidez. O transplântio das mudas foi realizado no espaçamento de 2,6 x 3,5 m (9,1 m² por planta).

A adubação foi realizada de forma parcelada. A adubação de base consistiu 350 kg ha⁻¹ da formulação NPK 06-30-06 + 0,5% de B e Cu + 0,1 de Zn e Mg. As adubações de cobertura foram efetuadas aos 90 dias após o plantio, com 160 kg há⁻¹ da fórmula 15-05-30 + 0,5% de B, e aos 12 meses, com 180 kg há⁻¹ da formulação 00-00-54.

O manejo de plantas daninhas combinou aplicações de herbicidas pré e pós-emergentes com capinas mecânicas periódicas. O controle de formigas cortadeiras foi feito com iscas à base de sulfluramida, aplicadas antes da implantação e reaplicadas ao longo do primeiro ano de avaliação.

2.2.4 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados (DBC), em arranjo fatorial 3 × 6, totalizando 18 tratamentos. Foram avaliados três clones híbridos de *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla*, doravante denominados Clone 1, Clone 2 e Clone 3. Os recipientes utilizados compreenderam quatro volumes do sistema *paperpot* 71, 85, 96 e 115 cm³ e dois volumes de tubetes plásticos 55 e 100 cm³.

Os tratamentos foram distribuídos em 12 blocos, resultando em 216 unidades experimentais por local. Cada unidade experimental foi constituída por 30 plantas úteis, dispostas em parcelas retangulares com arranjo de 6 × 5 plantas. Para reduzir os efeitos de borda, adotou-se uma área de bordadura formada por duas linhas de plantio, totalizando 1.976 plantas no total. Considerando o conjunto dos três locais avaliados, o experimento envolveu 21.416 plantas, ocupando uma área total de 20,91 ha.

Os recipientes degradáveis do tipo *paperpot* foram confeccionados com papel técnico Ellepot EP 8-12, composto por fibras de madeira provenientes de florestas bem manejadas e certificadas pelo FSC®, associadas a fontes renováveis controladas, com adição de pequena fração de poliéster para reforço estrutural. O material apresenta elevada permeabilidade à água e ao ar, favorecendo a aeração e o desenvolvimento radicular durante a fase de viveiro. Após o

plantio, o papel sofre degradação gradual no solo, com tempo estimado entre 8 e 12 meses, permitindo a expansão contínua do sistema radicular sem restrições físicas.

2.2.5 Variáveis avaliadas

Foram avaliadas quatro variáveis com o objetivo de caracterizar o estabelecimento e o crescimento inicial das plantas em campo. A sobrevivência foi determinada aos 30 dias após o plantio (DAP), expressa como a porcentagem de plantas vivas por parcela. Aos 12 meses após o plantio, foram mensuradas a altura total das plantas e o diâmetro à altura do peito (DAP), obtido a 1,30 m do solo, considerando todos os indivíduos avaliados. Adicionalmente, a taxa de crescimento relativo da altura (TCR) foi estimada por meio do método log-linear, com base nos incrementos de altura observados entre 3 e 12 meses após o plantio.

2.2.6 Análise estatística

A análise estatística seguiu o procedimento descrito por Pimentel-Gomes (2009), que recomenda a verificação prévia da homogeneidade de variâncias entre ambientes antes da realização de análises conjuntas. Inicialmente, foram conduzidas análises individuais por local, e posteriormente calculou-se a razão entre o maior e o menor quadrado médio dos resíduos (QMResíduos). Quando essa razão foi < 7 , procedeu-se à análise conjunta; valores superiores indicaram heterogeneidade, requerendo análises separadas por local.

Esse critério foi aplicado a cada variável avaliada, de modo a garantir maior precisão estatística e compatibilidade com a variabilidade ambiental observada. Nas análises conjuntas, os fatores local, clone, recipiente e suas interações, foram considerados como efeitos fixos, enquanto o efeito de bloco foi tratado como aleatório dentro de cada local.

O modelo geral adotado para as análises conjuntas foi:

$$Y_{ijk} = \mu + (b_j | \text{local}) + \text{local}_k + t_i + (\text{local} \times \text{tratamento})_{ki} + \varepsilon_{ijk}$$

Onde: μ representa a média geral; $(b_j | \text{local})$ corresponde aos blocos aninhados ao local; t_i refere-se às combinações clone \times recipiente; ε_{ijk} corresponde ao erro aleatório.

Para a variável sobrevivência (%), utilizou-se um modelo linear generalizado misto (GLMM) com distribuição binomial (Guimarães et al. 2024), adequado para dados de contagem (1 = planta viva; 0 = planta morta). O ajuste foi realizado por meio da função `glmer()` do pacote `lme4` (Bates et al. 2015), considerando os efeitos fixos local, clone e recipiente, o efeito aleatório de bloco aninhado em local.

$$\text{logit}(p_{ijkl}) = \beta_0 + S_k + C_l + V_m + (S \times C)_{kl} + (S \times V)_{km} + (C \times V)_{lm} + (S \times C \times V)_{klm} + \alpha_{j(k)} + \varepsilon_{ijkl}$$

Onde: p_{ijkl} representa a probabilidade de sobrevivência; β_0 corresponde ao intercepto; S_k , C_l e V_m são os efeitos fixos de local, clone e volume do recipiente, respectivamente; os termos entre parênteses representam suas interações; $\alpha_{j(k)}$ corresponde ao efeito aleatório do bloco aninhado ao local; e ε_{ijkl} representa o erro aleatório.

As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o software R 4.5.1 (R Core Team, 2025), e a elaboração dos gráficos foi conduzida com o pacote ggplot2 (Wickham 2016).

Foi realizada análise de correlação de Pearson entre a sobrevivência das plantas aos 30 dias após o plantio e atributos morfológicos das mudas avaliados em viveiro, estimando-se os coeficientes de correlação (r) e os respectivos valores de significância (p), considerando nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

2.3 Resultados

2.3.1 Homogeneidade de variâncias entre locais

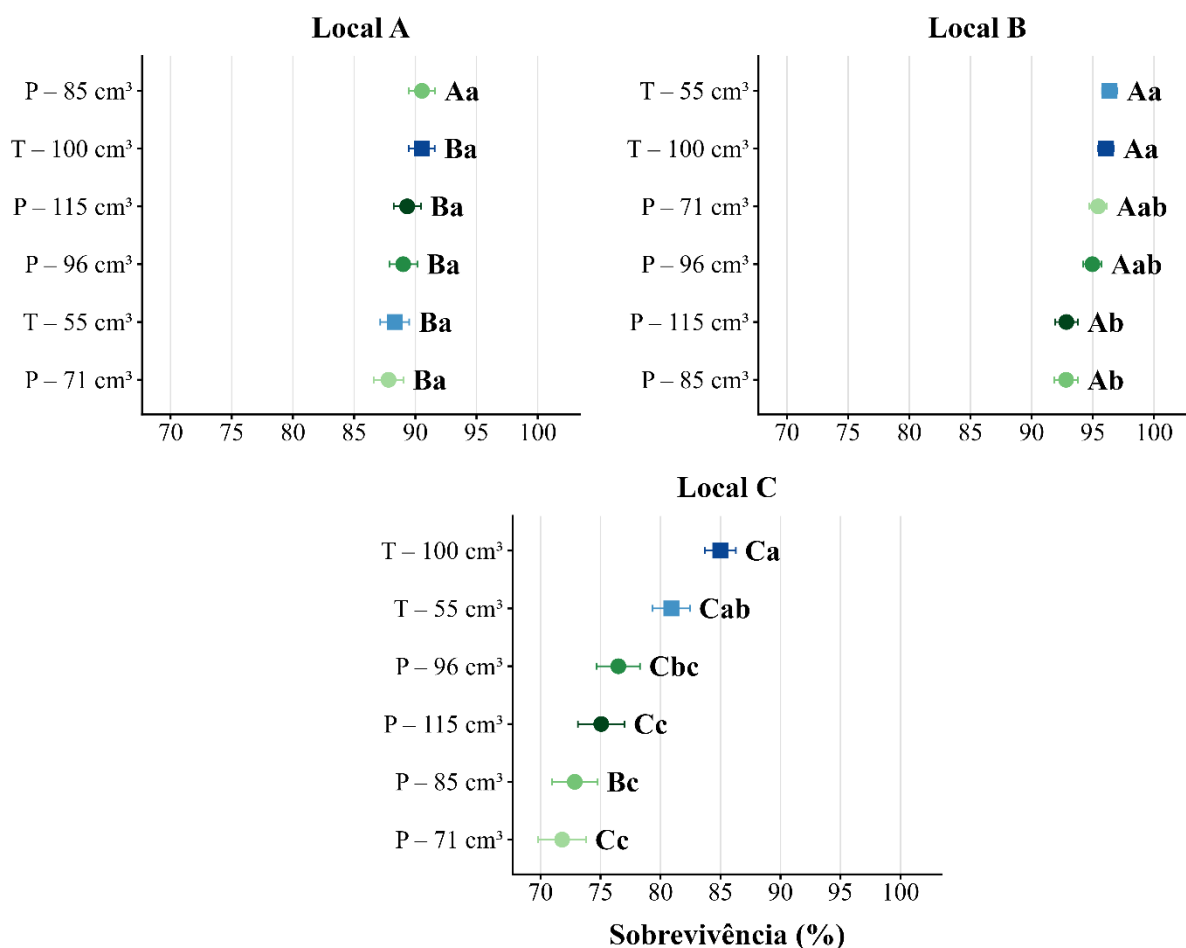
A análise indicou que as variáveis altura (razão = 3,2) e taxa de crescimento relativo (razão = 1,7) atenderam ao critério estabelecido, permitindo a realização de análises conjuntas entre os locais. Para o diâmetro à altura do peito (DAP), a razão entre os quadrados médios dos resíduos foi de 6,9, valor próximo ao limite crítico de 7; em função dessa proximidade ao limiar de heterogeneidade e visando maior rigor estatístico, optou-se pela realização de análises individuais por local para essa variável.

2.3.2 Taxa de sobrevivência

Os resultados do GLMM evidenciaram efeito significativo dos fatores avaliados e de suas interações sobre a sobrevivência inicial das mudas. Apesar da significância da interação tripla, a apresentação dos resultados concentrou-se nas interações duplas entre local, recipiente e clone, por permitirem maior clareza na descrição dos padrões de resposta associados ao estabelecimento em campo.

A taxa de sobrevivência aos 30 dias variou entre os locais, indicando que a resposta ao tipo e volume de recipiente não foi uniforme entre os ambientes de implantação (Figura 15). Dentro de cada local, também foram observadas diferenças entre recipientes. No Local A, não foram detectadas diferenças estatísticas entre os recipientes.

Figura 15 - Taxa de sobrevivência (%) de clones de *Eucalyptus* aos 30 dias após plantio, em função da interação entre locais e recipientes. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Letras minúsculas comparam recipientes dentro de cada local, e letras maiúsculas comparam o mesmo recipiente entre locais. Pontos representam as médias e as barras horizontais indicam o erro-padrão da média (EP). T = tubete; P = *paperpot*.



Fonte: Próprio autor (2026)

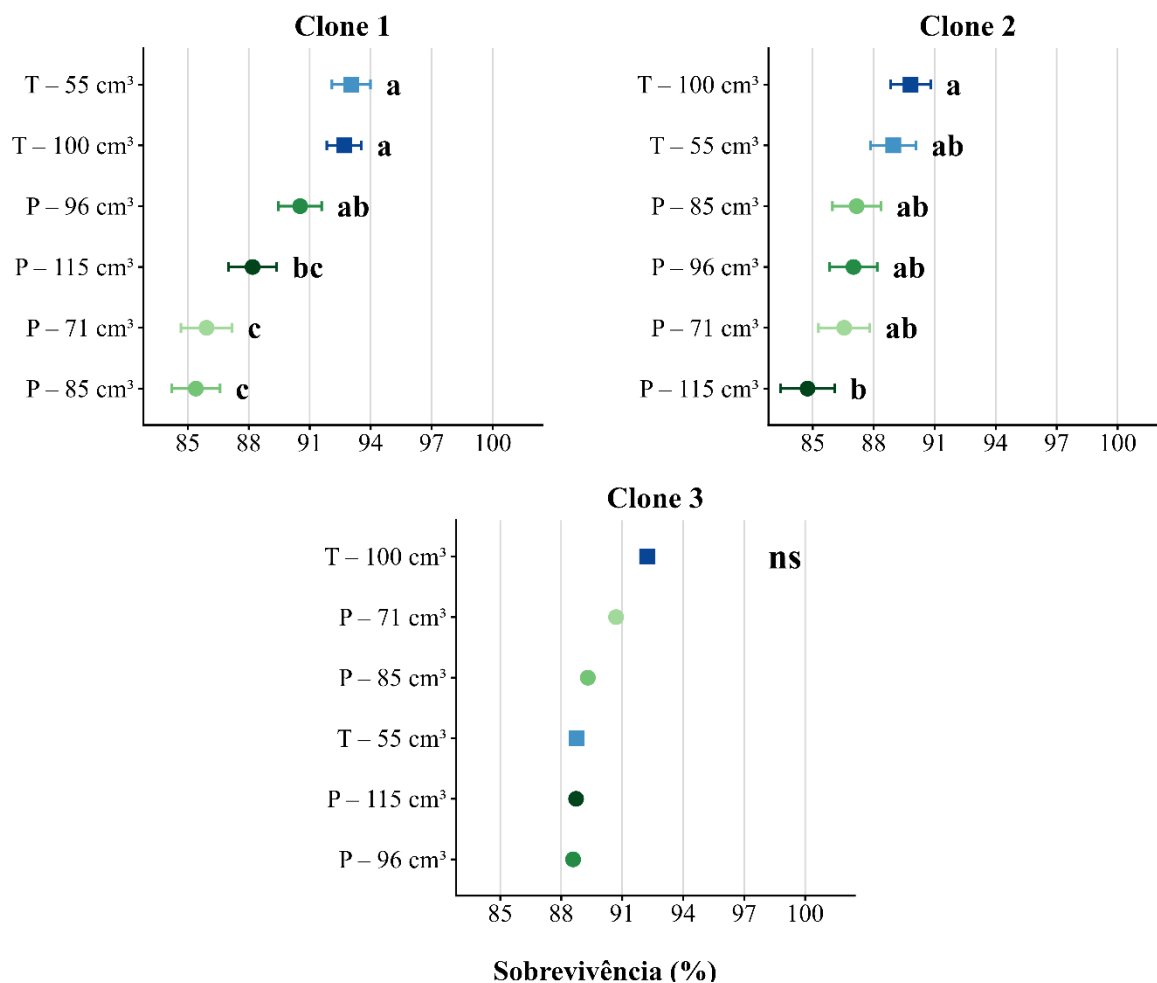
No Local B, plantas produzidas em tubetes de 55 e 100 cm³ apresentaram as maiores médias de sobrevivência, enquanto aquelas produzidas em *paperpots* de 71 e 96 cm³ ocuparam posição intermediária, sem diferir estatisticamente dos recipientes de maiores médias. Os *paperpots* de 115 e 85 cm³ compuseram o grupo de menores médias.

No Local C, plantas produzidas em tubete de 100 cm³ apresentaram maior média de sobrevivência, enquanto as produzidas em tubete de 55 cm³ ocuparam posição intermediária, sem diferir estatisticamente daquelas de tubete de 100 cm³. As plantas produzidas em *paperpot* de 96 cm³ também apresentaram resposta intermediária, sem diferir das produzidas em tubete de 55 cm³ nem do grupo de menores médias, ao passo que as plantas produzidas em *paperpots* de 71, 85 e 115 cm³ proporcionaram as menores taxas de sobrevivência.

Entre os recipientes avaliados, as plantas produzidas em *paperpot* de 71 cm³ apresentaram sobrevivência estatisticamente semelhante à das produzidas em recipiente convencional tubete de 55 cm³ nos Locais A e B, enquanto no Local C foi observada diferença entre ambos, com vantagem de 9,1 pontos percentuais para as plantas produzidas em tubete de 55 cm³. Entre os locais, esses dois recipientes apresentaram o mesmo ordenamento de resposta, com maiores médias no Local B, valores intermediários no Local A e menores médias no Local C.

As taxas de sobrevivência das plantas variaram entre os recipientes dentro de cada clone (Figura 16). Para o Clone 1, as plantas produzidas em tubetes de 55 e 100 cm³ compuseram o grupo de maiores médias de sobrevivência, enquanto as produzidas em *paperpot* de 96 cm³ ocuparam posição intermediária, sem diferir estatisticamente dos recipientes de maiores médias. As plantas produzidas em *paperpots* de 71 e 85 cm³ apresentaram as menores médias, e aquelas produzidas em *paperpot* de 115 cm³ ocuparam posição intermediária, sem diferir das produzidas em *paperpot* de 96 cm³ nem do grupo de menores médias.

Figura 16 - Taxa de sobrevivência (%) de clones de *Eucalyptus* aos 30 dias após o plantio, em função da interação entre clone e recipiente. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Pontos representam as médias e as barras horizontais indicam o erro-padrão da média (EP). T = tubete; P = *paperpot*; ns = não significativo.



Fonte: Próprio autor (2026)

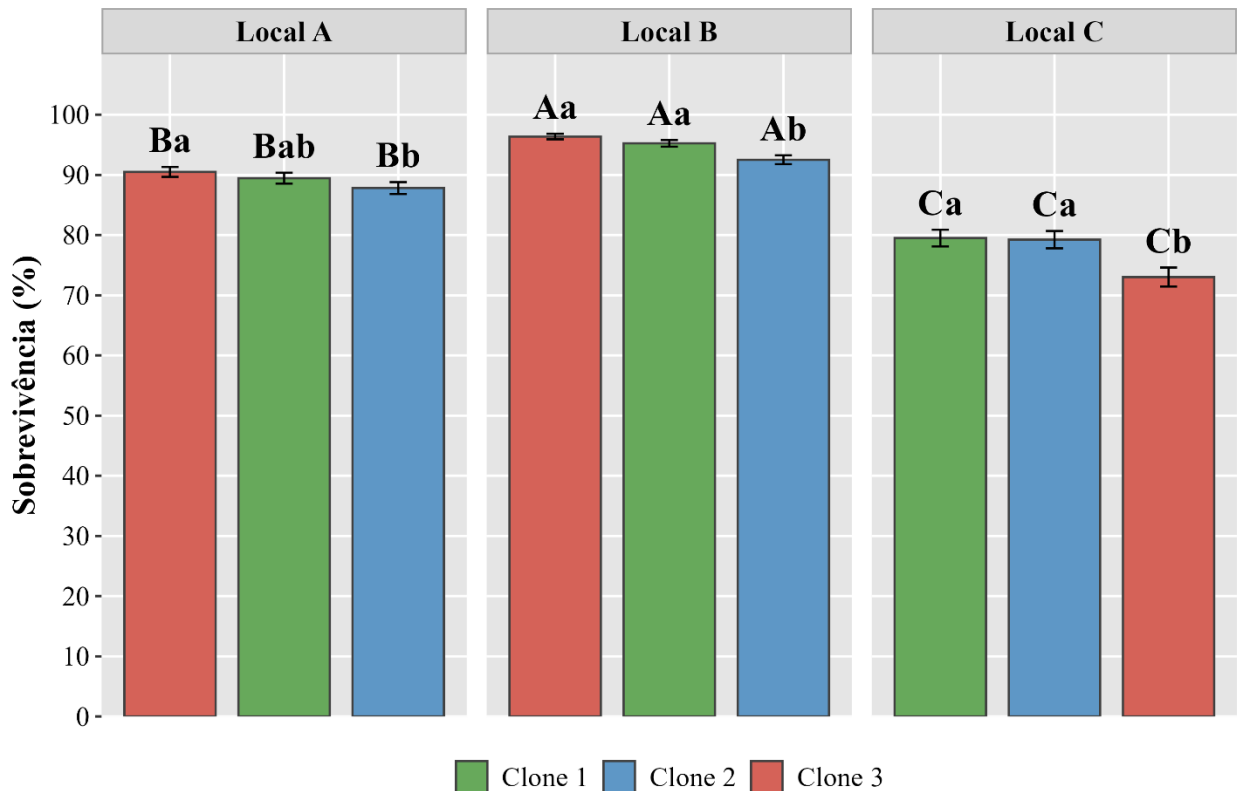
No Clone 2, plantas produzidas em tubete de 100 cm³ apresentaram a maior média de sobrevivência, enquanto as produzidas em *paperpot* de 115 cm³ apresentaram a menor. As plantas produzidas em tubete de 55 cm³ e aquelas produzidas em *paperpots* de 71, 85 e 96 cm³ ocuparam posição intermediária, sem diferir estatisticamente dos grupos superior e inferior. Para o Clone 3, não foram detectadas diferenças estatisticamente significativas entre os recipientes.

Entre os recipientes avaliados, as plantas produzidas em *paperpot* de 71 cm³ apresentaram sobrevivência estatisticamente semelhante à das produzidas em recipiente convencional tubete de 55 cm³ nos Clones 2 e 3, enquanto no cClone 1 foi observada diferença entre ambos, com vantagem de 7,1 pontos percentuais para as plantas produzidas em tubete de 55 cm³.

A sobrevivência aos 30 dias variou em função da interação entre locais e clones (Figura 17). Dentro de cada local, diferenças entre clones foram observadas. No Local A, o Clone 3

apresentou a maior média de sobrevivência, o Clone 1 ocupou posição intermediária, sem diferir estatisticamente dos demais, e o Clone 2 apresentou a menor média.

Figura 17 - Taxa de sobrevivência (%) de clones de *Eucalyptus* aos 30 dias após o plantio, em função da interação entre locais e clones. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Letras minúsculas comparam clones dentro de cada local, e letras maiúsculas comparam o mesmo clone entre locais. Barras representam o erro-padrão da média (EP).



Fonte: Próprio autor (2026)

No Local B, os Clones 1 e 3 compuseram o grupo de maiores médias, enquanto o Clone 2 apresentou o menor valor. No Local C, os Clones 1 e 2 apresentaram sobrevivência semelhante e superior à do Clone 3.

Entre os locais, os três clones apresentaram o mesmo padrão de resposta, com maiores médias de sobrevivência no Local B, valores intermediários no Local A e menores médias no Local C.

A análise de correlação indicou associações estatisticamente significativas entre a sobrevivência em campo e alguns atributos morfológicos avaliados na fase de viveiro (Tabela 2). Entre as variáveis analisadas, a massa seca de raízes (MSR) apresentou a associação positiva com a sobrevivência ($r = 0,59$; $p < 0,05$), seguida pelo índice de qualidade de Dickson (IQD) e pela massa seca total (MST), que também exibiram correlações positivas e significativas.

Tabela 2 - Coeficientes de correlação de Pearson entre atributos morfológicos de mudas produzidas em viveiro e a sobrevivência em campo aos 30 dias após o plantio.

Variável	<i>r</i>	p-valor
MSR	0,59	0,0108 *
IQD	0,54	0,0208 *
MST	0,53	0,0225 *
MSPA	0,45	0,0584
DC	0,41	0,0889
H	0,38	0,1240
RHMSPA	0,33	0,1770
RHDC	0,20	0,4196
RMSPAMST	0,19	0,4431

Valores de *r* correspondem ao coeficiente de correlação de Pearson. Valores de p-valor acompanhados de asterisco indicam correlação estatisticamente significativa ($p < 0,05$). MSR: massa seca de raízes; IQD: índice de qualidade de Dickson; MST: massa seca total; MSPA: massa seca da parte aérea; DC: diâmetro do colo; H: altura; RHMSPA: razão altura/massa seca da parte aérea; RHDC: razão altura/diâmetro do colo; RMSPAMST: razão massa seca da parte aérea/massa seca total.

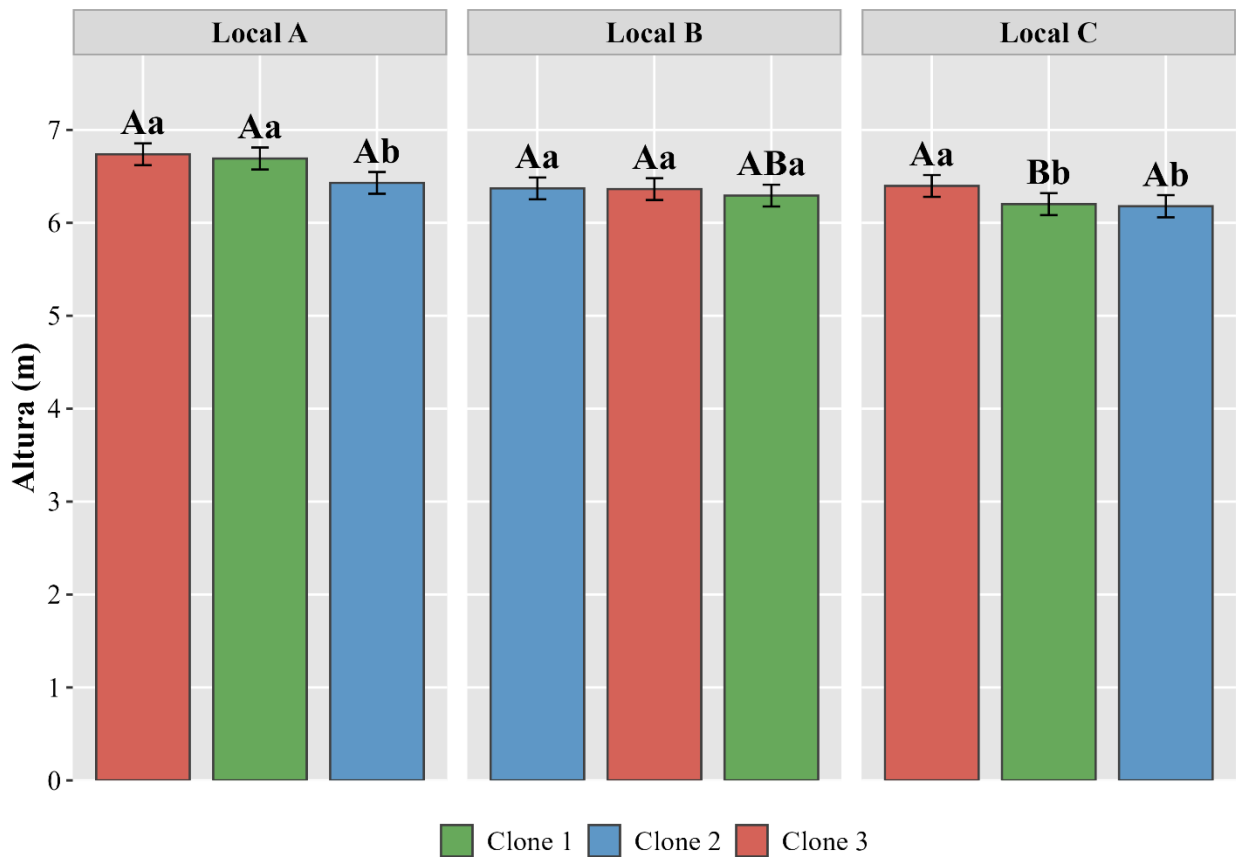
A massa seca da parte aérea (MSPA) apresentou correlação positiva, porém sem significância estatística. Da mesma forma, as variáveis estruturais avaliadas, como diâmetro do colo e altura, não apresentaram associação significativa com a sobrevivência em campo. As razões morfológicas analisadas exibiram coeficientes de correlação fracos e não significativos (Tabela 2).

2.3.3 Crescimento em altura

A análise de variância indicou que o fator clone e a interação entre local e clone apresentaram efeito significativo sobre a altura.

A altura aos 12 meses variou em função da interação entre locais e clones (Figura 18). Dentro de cada local, diferenças entre clones foram observadas apenas nos Locais A e C. No Local A, os Clones 1 e 3 apresentaram as maiores médias de altura, sem diferir entre si, enquanto o Clone 2 registrou o menor valor. No Local B, não foram detectadas diferenças estatisticamente significativas entre os clones. No Local C, o Clone 3 apresentou a maior média de altura, enquanto os Clones 1 e 2 exibiram valores semelhantes e inferiores ao do Clone 3.

Figura 18 - Altura média (m) de clones de *Eucalyptus* aos 12 meses após o plantio, em função da interação entre locais e clones. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Letras minúsculas comparam clones dentro de cada local, e letras maiúsculas comparam o mesmo clone entre locais. Barras representam o erro-padrão da média (EP).



Fonte: Próprio autor (2026)

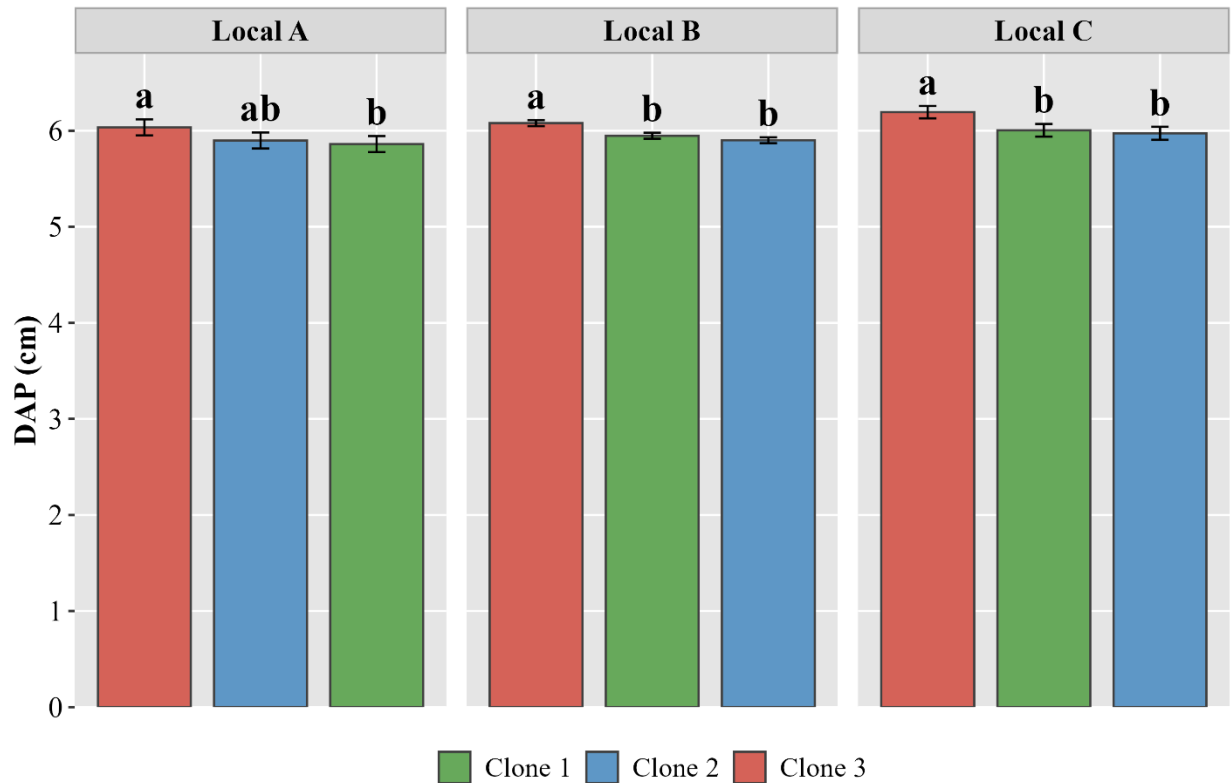
Entre os locais, os Clones 2 e 3 apresentaram comportamento homogêneo, sem diferenças estatisticamente significativas entre os ambientes avaliados. Para o Clone 1, o Local A apresentou a maior média, o Local C a menor, e o Local B ocupou posição intermediária, sem diferir estatisticamente dos demais.

2.3.4 Crescimento em diâmetro à altura do peito (DAP)

A análise de variância, conduzida separadamente por local em razão da heterogeneidade de variâncias, indicou efeito significativo do fator clone sobre o DAP em todos os locais avaliados. A interação clone x recipiente foi significativa apenas no local B.

Os valores de DAP diferiram entre os clones dentro de cada local (Figura 19). No Local A, o Clone 3 apresentou a maior média de DAP, enquanto o Clone 1 registrou a menor, e o Clone 2 ocupou posição intermediária, sem diferir estatisticamente dos demais. Nos Locais B e C, o Clone 3 apresentou as maiores médias, enquanto os Clones 1 e 2 exibiram valores semelhantes e inferiores aos do Clone 3.

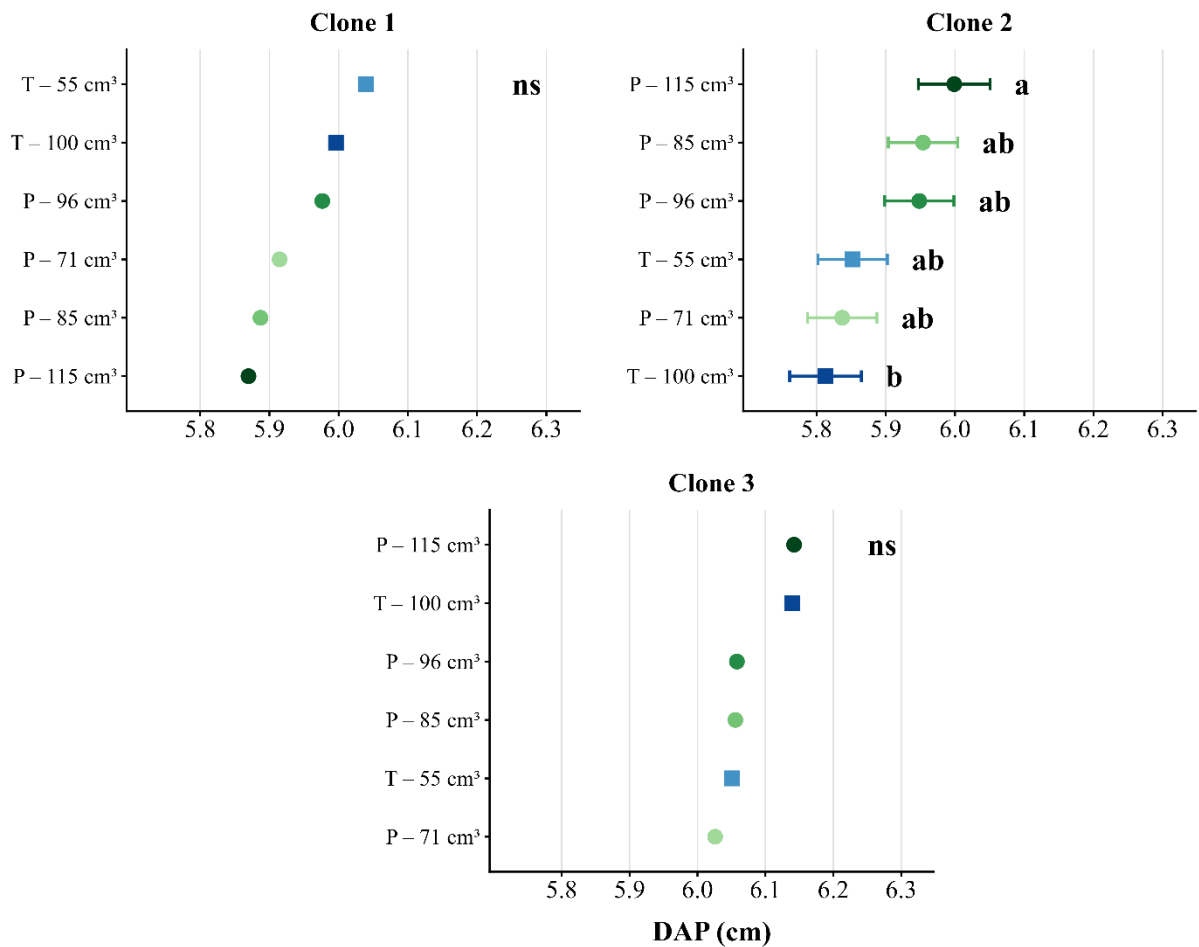
Figura 19 - Diâmetro à altura do peito (cm) de clones de *Eucalyptus* aos 12 meses após o plantio, em função dos clones em cada local. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Barras representam o erro padrão da média.



Fonte: Próprio autor (2026)

No Local B, a interação entre clones e recipientes para DAP foi significativa apenas no Clone 2 (Figura 20). Nesse clone, as plantas produzidas em *paperpot* de 115 cm³ apresentaram a maior média de diâmetro, enquanto as produzidas em tubete de 100 cm³ apresentaram a menor. As plantas produzidas em *paperpots* de 71, 85 e 96 cm³ e aquelas produzidas em tubete de 55 cm³ ocuparam posição intermediária, sem diferir estatisticamente dos grupos superior e inferior. Para os Clones 1 e 3, não foram detectadas diferenças estatisticamente significativas entre os recipientes.

Figura 20 - Diâmetro à altura do peito (cm) médio de clones de *Eucalyptus* aos 12 meses após o plantio, em função do clone e recipiente. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Pontos representam as médias e as barras horizontais indicam o erro-padrão da média (EP). T = tubete; P = *paperpot*; ns = não significativo.



Fonte: Próprio autor (2026)

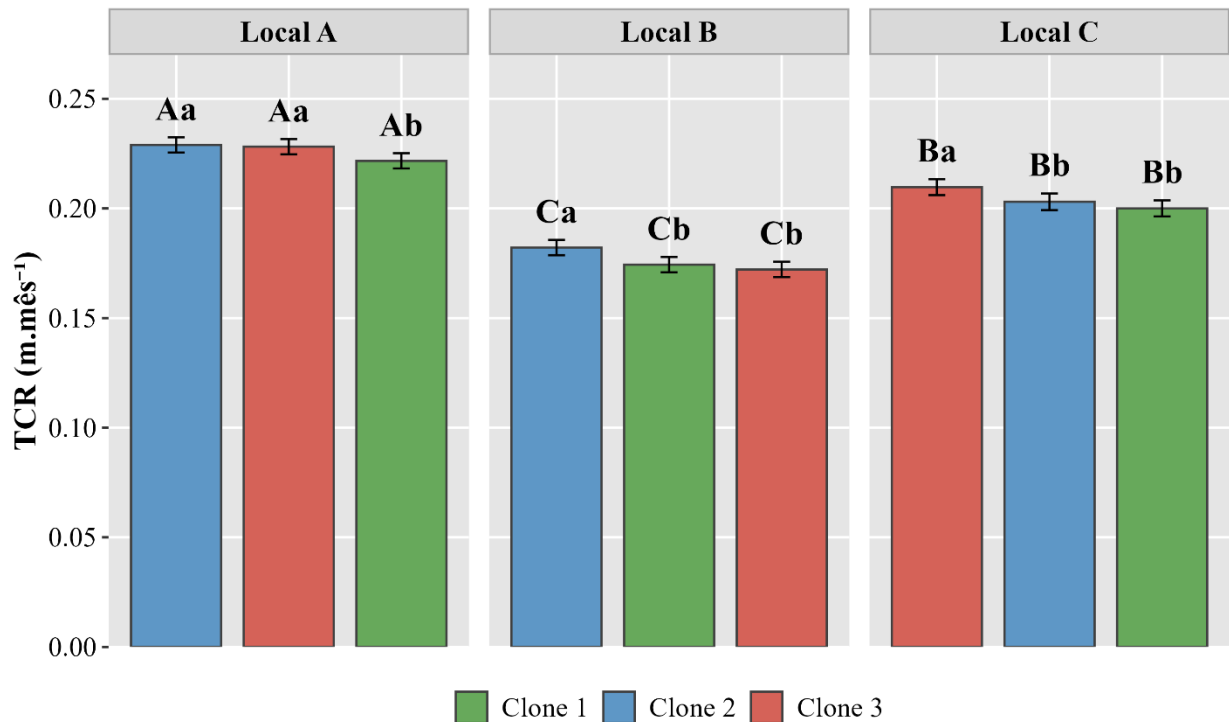
Entre os recipientes avaliados, o *paperpot* de 71 cm³ apresentou valores de DAP estatisticamente semelhantes aos observados no recipiente convencional tubete de 55 cm³ em todos os clones.

2.3.5 Crescimento na taxa de crescimento relativo (TCR)

A análise de variância indicou efeito significativo dos fatores local, clone e recipiente Sobre a TCR. Adicionalmente, foram observadas interações significativas entre local × clone e entre local × recipiente.

A taxa de crescimento relativo variou em função da interação entre locais e clones (Figura 21). Dentro de cada local, diferenças entre clones foram observadas. No Local A, os Clones 2 e 3 apresentaram as maiores médias de TCR, sem diferir entre si, enquanto o Clone 1 registrou o menor valor. No Local B, o Clone 2 apresentou a maior média, enquanto os Clones 1 e 3 exibiram valores semelhantes e inferiores. No Local C, o Clone 3 apresentou a maior média, enquanto os Clones 1 e 2 apresentaram valores semelhantes e inferiores.

Figura 21 - Taxa de crescimento relativo (m.mês^{-1}) de clones de *Eucalyptus* em função da interação entre locais e clones. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Letras minúsculas comparam clones dentro de cada local, e letras maiúsculas comparam o mesmo clone entre locais. Barras representam o erro-padrão da média (EP).

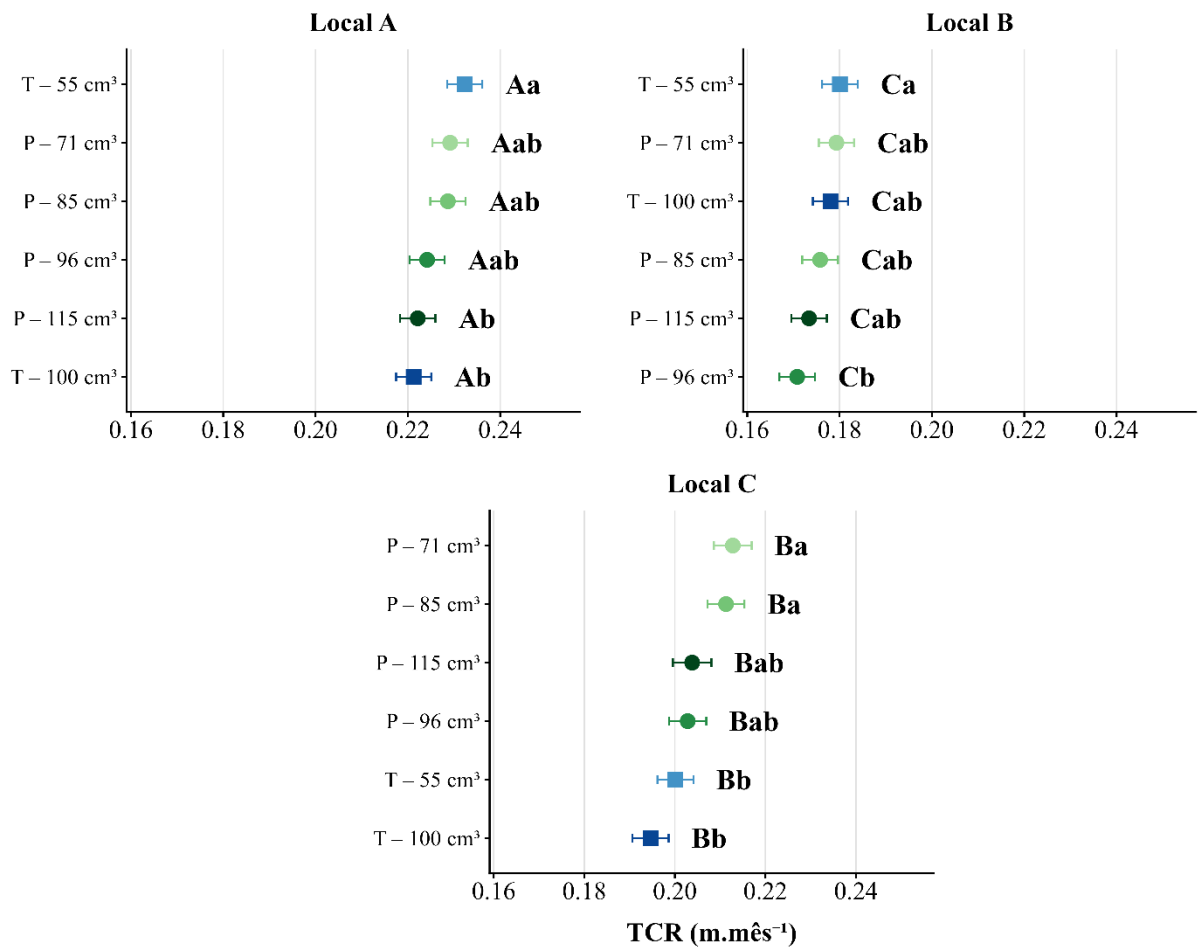


Fonte: Próprio autor (2026)

Entre os locais, os três clones apresentaram o mesmo padrão de resposta, com maiores médias de TCR no Local A, valores intermediários no Local C e menores médias no Local B.

A taxa de crescimento relativo variou entre os locais, indicando que a resposta ao tipo e volume de recipiente não foi uniforme entre os ambientes de implantação (Figura 22). Dentro de cada local, também foram observadas diferenças entre recipientes. No Local A, as plantas produzidas em tubete de 55 cm^3 apresentaram a maior média de TCR, enquanto aquelas produzidas em *paperpots* de 71 , 85 e 96 cm^3 ocuparam posição intermediária. As plantas produzidas em *paperpot* de 115 cm^3 e em tubete de 100 cm^3 compuseram o grupo de menores médias.

Figura 22 - Taxa de crescimento relativo média (m.mês^{-1}) de clones de *Eucalyptus* em função da interação entre locais e recipientes. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Letras minúsculas comparam recipientes dentro de cada local, e letras maiúsculas comparam o mesmo recipiente entre locais. Pontos representam as médias e as barras horizontais indicam o erro-padrão da média (EP). T = tubete; P = *paperpot*.



Fonte: Próprio autor (2026)

No Local B, as plantas produzidas em tubete de 55 cm³ apresentaram a maior média, enquanto as produzidas em *paperpots* de 71, 85 e 115 cm³ e em tubete de 100 cm³ ocuparam posição intermediária, e aquelas produzidas em *paperpot* de 96 cm³ apresentou a menor média.

No Local C, as plantas produzidas em *paperpots* de 71 e 85 cm³ compuseram o grupo superior, aquelas produzidas em *paperpots* de 96 e 115 cm³ apresentaram valores intermediários, e as produzidas em tubetes de 55 e 100 cm³ registraram as menores médias.

Entre os recipientes avaliados, as plantas produzidas em *paperpot* de 71 cm³ apresentaram TCR estatisticamente semelhante à das produzidas em recipiente convencional tubete de 55 cm³ nos Locais A e B, enquanto no Local C foi observada diferença entre ambos, com vantagem de 0,0127 m.mês⁻¹, equivalente a um ganho relativo de 6,35% para as produzidas em *paperpot* de 71 cm³. Entre os locais, esses dois recipientes apresentaram o mesmo ordenamento de resposta, com maiores médias das plantas no Local A, valores intermediários no Local C e menores médias no Local B.

2.4 Discussão

2.4.1 Taxa de sobrevivência

Na interação entre local e recipiente, observou-se maior estabilidade de resposta dos recipientes plásticos, possivelmente em razão da maior rigidez estrutural e da melhor manutenção do torrão nas primeiras semanas após o plantio (Menegatti et al. 2017; Islam et al. 2019; Cury et al. 2024). Entre os recipientes degradáveis, as plantas produzidas em *paperpot* de 71 cm³ apresentaram sobrevivência semelhante à daquelas produzidas em tubete de 55 cm³ em parte dos ambientes, o que reforça seu potencial como alternativa técnica. Esse padrão é coerente com observações de Fanola et al. (2023), que destacam a viabilidade de recipientes degradáveis durante a fase inicial de estabelecimento. No entanto, no Local C, as plantas produzidas em tubete de 55 cm³ apresentaram maior sobrevivência, sugerindo maior dependência da resposta das plantas produzidas em *paperpot* de 71 cm³ às condições de implantação nesse ambiente, mesmo sob excedente hídrico no período inicial. Essa resposta também variou entre os clones, indicando que a equivalência entre plantas produzidas em *paperpot* de 71 cm³ e em tubete de 55 cm³ não se manteve de forma uniforme entre os genótipos avaliados. Esse comportamento reforça que a resposta ao recipiente pode diferir mesmo entre genótipos com base genética semelhante, em concordância com Oliveira et al. (2020); Amâncio et al. (2020).

As condições locais de implantação influenciaram a sobrevivência inicial dos genótipos. Considerando que o plantio ocorreu em período de excedente hídrico, a variação observada entre os ambientes sugere que, nessa fase, a sobrevivência esteve menos relacionada à limitação hídrica imediata e possivelmente associada à qualidade morfológica das mudas e às condições de estabelecimento (Grossnickle 2012; Hechter et al. 2022; Ivetić et al. 2016). Essa interpretação é reforçada pelas correlações positivas entre a sobrevivência em campo e atributos como massa seca de raízes, índice de qualidade de Dickson e massa seca total, indicando a importância da qualidade morfológica das mudas para o sucesso inicial do plantio. Esse comportamento é compatível com estudos que relatam variação na sobrevivência inicial em função da interação entre genótipo e ambiente em plantios de *Eucalyptus* (Silva et al. 2017; Oliveira et al. 2020; Amâncio et al. 2020).

2.4.2 Crescimento inicial

Na interação entre local e clone, a variação em altura entre os ambientes indica que a resposta dos genótipos avaliados ao crescimento inicial não foi uniforme. Os Clones 2 e 3 apresentaram comportamento mais estável entre os locais, enquanto o Clone 1 mostrou maior

sensibilidade às condições ambientais. Esse padrão sugere que, mesmo entre genótipos pertencentes ao mesmo grupo híbrido *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla*, podem ocorrer diferenças na consistência da resposta ao ambiente, em concordância com estudos que relatam variação de vigor e plasticidade de crescimento em função da interação genótipo × ambiente (Fernandes et al. 2018; Flores et al. 2018; Oliveira et al. 2020).

As diferenças de altura entre os locais sugerem associação com as condições hídricas ao longo do ciclo avaliado. Nesse contexto, a variação em altura pode ter estado mais relacionada à dinâmica hídrica das camadas superficiais do solo, exploradas predominantemente pelo sistema radicular jovem, em consonância com Padilla e Pugnaire (2007); Christina et al. (2017); Ciruzzi & Loheide (2021). Em contraste com o padrão reportado por Stape & Alvares (2025) para povoamentos mais desenvolvidos, os resultados deste estudo não evidenciaram de forma consistente a associação entre menor profundidade do lençol freático, maior crescimento e menor mortalidade.

Em relação ao crescimento em diâmetro, a superioridade recorrente do Clone 3 sugere maior consistência no crescimento radial durante o primeiro ano após o plantio, mesmo entre genótipos pertencentes ao mesmo grupo híbrido *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla*. Esse comportamento indica que diferenças intra-híbridas de vigor inicial também se expressam no acúmulo em diâmetro, em consonância com estudos que relatam variação de desempenho entre clones geneticamente próximos em função da interação genótipo × ambiente (Flores et al. 2018; Oliveira et al. 2020). Em contraste, os demais genótipos apresentaram menor expressão de crescimento radial nas condições avaliadas, padrão também relatado por Fernandes et al. (2018).

No Local B, a interação entre clone e recipiente indica que a resposta do DAP dependeu do genótipo. Como esse efeito foi restrito ao Clone 2, o resultado sugere maior sensibilidade desse genótipo às variações de tipo e volume de recipiente, enquanto os demais clones apresentaram crescimento radial mais estável nessa condição, em concordância com Oliveira et al. (2020); Assis et al. (2016), que relatam variação clonal na resposta ao ambiente. Nessa condição específica, a equivalência entre plantas produzidas em *paperpot* de 71 cm³ e tubete de 55 cm³ reforça que recipientes degradáveis podem sustentar crescimento radial semelhante ao do recipiente convencional, resultado também compatível com estudos que destacam o potencial técnico de recipientes degradáveis no crescimento inicial das plantas em campo (Fanola et al., 2023; Santos et al., 2024).

Na interação entre local e recipiente para a taxa de crescimento relativo, a relação entre plantas produzidas em *paperpot* de 71 cm³ e aquelas produzidas em tubete de 55 cm³ não se

manteve de forma uniforme entre os locais, sugerindo possível influência das condições locais de implantação sobre a resposta inicial das plantas. Esse padrão reforça que recipientes degradáveis podem sustentar TCR semelhante, ou mesmo superior, à observada em plantas produzidas em recipiente convencional sob condições específicas de implantação, resultado compatível com estudos que destacam o potencial técnico desses recipientes no crescimento inicial das plantas em campo (Fanola et al., 2023; Santos et al., 2024).

Considerando a interação entre local e clone, o comportamento mais consistente dos Clones 2 e 3, em contraste com a menor expressão do Clone 1 em parte dos ambientes, sugere diferenças na capacidade de resposta ao ambiente já no primeiro ano após o plantio, em linha com estudos que relatam variação de vigor inicial entre genótipos de *Eucalyptus* sob distintas condições de campo (Júnior et al., 2020; Müller et al., 2020; Rocha et al., 2022). Em solos arenosos de baixa retenção hídrica, como os Neossolos Quartzarênicos, a alternância entre excedente e déficit hídrico pode modificar a disponibilidade de água nas camadas superficiais do solo, o que ajuda a explicar a variação observada na TCR entre os ambientes (Júnior et al., 2020; Müller et al., 2020; Rocha et al., 2022).

2.5 Conclusão

Sob condição sem restrição hídrica inicial, o tipo e o volume dos recipientes, assim como o genótipo, influenciaram o desempenho inicial em campo de clones de *Eucalyptus*. As plantas produzidas em *paperpot* de 71 cm³ apresentaram desempenho semelhante ao das produzidas em recipiente convencional tubete de 55 cm³ para altura e DAP e, para a TCR, resposta semelhante em parte dos locais avaliados e superior no Local C. Em relação à sobrevivência inicial, as plantas produzidas em *paperpot* 71 cm³ apresentaram resposta semelhante as produzidas em tubete de 55 cm³ na maior parte dos locais avaliados, com diferença observada no Local C, onde as plantas produzidas em recipiente convencional apresentaram maior sobrevivência. Entre os genótipos, o Clone 3 apresentou desempenho inicial superior em relação aos demais. Assim, mesmo sob condição sem restrição hídrica inicial, o *paperpot* de 71 cm³ configurou-se como alternativa tecnicamente viável ao tubete de 55 cm³ para a produção de mudas clonais destinadas ao estabelecimento em campo.

2.6 Referências

ALFENAS, A. C. *et al.* Doenças causadas por agentes bióticos ou infecciosos. In: ALFENAS, A. C. *et al.* **Clonagem e doenças do eucalipto**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2009. p. 207–319.

AMÂNCIO, Marcos Rafael *et al.* Genetic control of coppice regrowth in *Eucalyptus* spp. **Silvae Genetica**, v. 69, n. 1, p. 6–12, 2020. <https://doi.org/10.2478/sg-2020-0002>

ASSIS, T. F. de; ABAD, J. I. M.; AGUIAR, A. M. Melhoramento genético do eucalipto. In: SCHUMACHER, M. V.; VIEIRA, M. (ed.). *Silvicultura do eucalipto no Brasil*. Santa Maria, RS: Ed. da UFSM, 2015. p. 217–244.

BATES, Douglas *et al.* Fitting linear mixed-effects models using lme4. **Journal of Statistical Software**, v. 67, n. 1, p. 1–48, 2015. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>

BINKLEY, Dan *et al.* The interactions of climate, spacing and genetics on clonal *Eucalyptus* plantations across Brazil and Uruguay. **Forest Ecology and Management**, v. 405, p. 271–283, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.09.050>

CURY, Letícia Duron *et al.* Growth of *Eucalyptus urophylla* seedlings produced in conventional and water collection trays in degradable tube and polypropylene systems. **Ciência Florestal**, v. 34, n. 2, p. e73734, 2024. <https://doi.org/10.5902/1980509873734>

ELLI, Elvis Felipe *et al.* Global sensitivity-based modelling approach to identify suitable *Eucalyptus* traits for adaptation to climate variability and change. **In Silico Plants**, v. 2, n. 1, p. 1–17, 2020. <https://doi.org/10.1093/insilicoplants/diaa003>

FANOLA, Hannah Cristina Botelho Lima *et al.* Efeitos de diferentes recipientes e idades de expedição na qualidade de mudas clonais de eucalipto. **DELOS: Desarrollo Local Sostenible**, v. 16, n. 47, p. 2952–2964, 2023. <https://doi.org/10.55905/rdelosv16.n47-028>

FERNANDES, Jamily Silva; JÚNIOR, Valdemiro Conceição; BARRETO-GARCIA, Patrícia Anjos Bittencourt. Field performance of *Eucalyptus* hybrids at Planalto da Conquista, Bahia, Brazil. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 2, p. e20160594, 2018. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.059416>

FLORES, Thiago Bevilacqua *et al.* *Eucalyptus* in Brazil Climatic Zoning and Identification Guide. [S.l.]: IPEF, 2018. 447 p. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/guiaeeucalyptus/en/>. Acesso em: 22 dez. 2025.

FREITAS, Teresa Aparecida Soares *et al.* Crescimento e ciclo de produção de mudas de *Eucalyptus* em recipientes. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, n. 76, p. 419–428, 2013. <https://doi.org/10.4336/2013.pfb.33.76.575>

GROSSNICKLE, Steven 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>

GUIMARÃES, Zilza Thayane Matos; LOPES, Lariany Falcão de Lima; FERREIRA, Marciel José. Productivity and stem quality of Amazon tree species: effects of initial seedling size and site preparation methods. **Forest Science**, v. 71, n. 1, p. 1–20, 2025. <https://doi.org/10.1007/S44391-024-00010-8>

GUIMARÃES, Zilza Thayane Matos; SILVA, Débora Coelho; FERREIRA, Marciel José. Seedling quality and short-term field performance of three Amazonian forest species as affected by site conditions. **IForest**, v. 17, n. 2, p. 80–89, 2024. <https://doi.org/10.3832/ifor4317-016>

HECHTER, Ullrich *et al.* Factors affecting eucalypt survival in South African plantation forestry. **Southern Forests**, v. 84, n. 3, p. 253–270, 2022. <https://doi.org/10.2989/20702620.2022.2147874>

IBÁ. Relatório Anual. [S.l.]: IBÁ, 2024. 99 p. Disponível em: <https://iba.org/wp-content/uploads/2025/05/relatorio2024.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2025.

ISLAM, MD Ariful; RAHMAN, MD Rayhanur; HOSSAIN, Mohammed Kamal. Effect of container and potting media on raising quality seedlings of *Acacia auriculiformis* in the nursery. **Asian Journal of Agriculture**, v. 3, n. 1, p. 26–32, 2019. <https://doi.org/10.13057/asianjagric/g030105>

IVETIĆ, Vladan; GROSSNICKLE, Steven; ŠKORIĆ, Mirko. Forecasting the field performance of Austrian pine seedlings using morphological attributes. **IForest**, v. 10, n. 1, p. 99–107, 2016. <https://doi.org/10.3832/ifor1722-009>

JÚNIOR, Rogério Souza Nóia *et al.* Ecophysiological acclimatization to cyclic water stress in *Eucalyptus*. **Journal of Forestry Research**, v. 31, n. 3, p. 797–806, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11676-019-00926-9>

KULMANN, Matheus S. S. *et al.* Effects of phosphorus fertilizer application on phosphorus fractions in different organs of *Cordia trichotoma*. **Journal of Forestry Research**, v. 32, n. 2, p. 725–732, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01136-4>

LISBOA, Alysson Canabrava *et al.* Efeito do volume de tubetes na produção de mudas de *Calophyllum brasiliense* e *Toona ciliata*. **Revista Árvore**, v. 36, n. 4, p. 603–609, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622012000400003>

LOPES, Emerson Delano; AMARAL, Cláudio Lúcio Fernandes; NOVAES, Adalberto Brito. Desempenho no campo de mudas de *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus camaldulensis* e *Corymbia citriodora* produzidas em diferentes recipientes. **Floresta**, v. 44, n. 4, p. 589–596, 2014. <https://doi.org/10.5380/rf.v44i4.26480>

MARDEN, Michael; ROWAN, Donna; LAMBIE, Suzanne. Root development and whole-tree allometry of juvenile trees of five seed lots of *Pinus radiata* D. Don: implications for forest establishment on erosion-prone terrain, East Coast region, North Island, New Zealand. **New Zealand Journal of Forestry Science**, v. 46, n. 24, 2016. <https://doi.org/10.1186/s40490-016-0082-y>

MENDONÇA, Andrea Vita Reis *et al.* Recipiente de fibras de *Attalea funifera* para produção de mudas de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 87, p. 245–252, 2016. <https://doi.org/10.4336/2016.pfb.36.87.1186>

MENEGATTI, Alexandre; ARRUDA, Guilherme Oliveira Santos Ferraz; NESI, Cristiano Nunes. O adubo de cama de aviário na produção e na qualidade de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Scientia Agraria**, v. 18, n. 1, p. 43–49, 2017. <https://doi.org/10.5380/rsa.v18i1.50741>

MÜLLER, Caroline *et al.* A physiological approach for pre-selection of *Eucalyptus* clones resistant to drought. **IForest**, v. 13, n. 1, p. 16–23, 2020. <https://doi.org/10.3832/ifor3185-012>

NAVARRO, Francisco B. *et al.* Interaction between weeding, outplanting date and site in open oak woodland plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 554, p. 121649, 2024. <https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2023.121649>

OLIVEIRA, Rodrigo Sousa *et al.* Evaluation of genetic parameters and clonal selection of *Eucalyptus* in the Cerrado region. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 20, n. 3, p. e29982031, 2020. <https://doi.org/10.1590/1984-70332020v20n3a35>

PADILLA, F. M.; PUGNAIRE, F. I. Rooting depth and soil moisture control Mediterranean woody seedling survival during drought. **Functional Ecology**, v. 21, n. 3, p. 489–495, 2007. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2007.01267.x>

PAQUETTE, Alain; MESSIER, Christian. The role of plantations in managing the world's forests in the Anthropocene. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 8, n. 1, p. 27-34, 2010. <https://doi.org/10.1890/080116>

PARK, Byung Bae *et al.* The use of deep container and heterogeneous substrate as potentially effective nursery practice to produce good quality nodal seedlings of *Populus sibirica* Tausch. **Forests**, v. 12, n. 4, p. 418, 2021. <https://doi.org/10.3390/F12040418>

PHUNG, Thanh Khoa *et al.* (Bio)propylene production processes: a critical review. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, n. 4, p. 105673, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105673>

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

ROCHA, Maria Eunice Lima *et al.* Growth dynamics of container seedlings of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* and *Hymenaea courbaril* L. **Revista Ceres**, v. 69, n. 4, p. 425–435, 2022. <https://doi.org/10.1590/0034-737x202269040006>

SANTOS, Renan Alves; NOVAES, Adalberto Brito; SOUSA, Nilton José. Root and morphological characteristics of *Eucalyptus* seedlings produced in biodegradable containers. **Floresta**, v. 54, n. 1, p. e-81761, 2024. <https://doi.org/10.5380/RF.V54I1.81761>

SILVA, Ana Caroline Rodrigues *et al.* Biodegradable containers affect the morphological and nutritional aspects of *Eucalyptus urophylla* seedlings. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 49, p. e0240216, 2025. <https://doi.org/10.36783/18069657RBCS20240216>

SILVA, Paulo Henrique Müller *et al.* Sobrevivência e crescimento inicial de espécies de eucalipto em diferentes condições climáticas. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 115, p. 563–571, 2017. <https://doi.org/10.18671/scifor.v45n115.13>

SIQUEIRA, David Pessanha *et al.* Container size and site quality affect survival and early growth performance of New Zealand native tree species. **Journal of Forestry Research**, v. 36, n. 1, p. 51, 2025. <https://doi.org/10.1007/S11676-025-01851-W>

STAPE, José Luiz; ALVARES, Clayton Alcarde. Water table depth contributes to tropical *Eucalyptus* plantation yields in sandstone-derived landscapes. **Forest Ecology and Management**, v. 589, p. 122771, 1 ago. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2025.122771>

WICKHAM, Hadley. ggplot2: elegant graphics for data analysis. 2. ed. Cham: Springer, 2016. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24277-4>

ZAVISTANOVICZ, Thairini Claudino *et al.* Nursery and field growths of *Enterolobium contortisiliquum* seedlings produced in different containers and fertilizer doses. **Revista**

Brasileira de Ciências Agrárias, v. 15, n. 3, p. 1–8, 2020.
<https://doi.org/10.5039/agraria.v15i3a7507>

CONCLUSÃO GERAL

Os resultados desta dissertação demonstram que o desempenho inicial em campo de clones de *Eucalyptus* foi influenciado pelo tipo e pelo volume dos recipientes utilizados na produção das mudas, bem como pelo genótipo e pelas condições locais de implantação, tanto sob restrição hídrica inicial quanto sem restrição hídrica inicial.

Em ambas as condições hídricas, as plantas produzidas em *paperpot* de 71 cm³ apresentaram desempenho de crescimento semelhante à das produzidas em recipiente convencional tubete de 55 cm³, com resposta equivalente das plantas para altura e DAP e semelhante ou superior para a TCR, conforme o local avaliado. Para a sobrevivência inicial, as respostas das plantas produzidas em *paperpot* de 71 cm³ apresentaram resposta semelhante à das produzidas em tubete de 55 cm³ na maior parte dos locais avaliados, com diferenças pontuais entre ambientes. Entre os genótipos avaliados, o Clone 3 apresentou desempenho inicial superior em ambas as condições hídricas.

Considerando o conjunto desses resultados, o *paperpot* de 71 cm³ mostrou-se, nas condições avaliadas, alternativa tecnicamente viável ao tubete de 55 cm³ para a produção de mudas clonais destinadas ao estabelecimento inicial em campo. Além disso, a definição do recipiente mais adequado deve considerar, de forma integrada, o recipiente, o genótipo e as condições locais de implantação, oferecendo subsídios técnicos para decisões operacionais em diferentes cenários hídricos.