



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

WESLAINE GALVÃO RODRIGUES

**IDENTIFICAÇÃO DE CLONES DE EUCALIPTO RESISTENTES A ESTRESSE
SALINO**

Imperatriz – MA

2024

WESLAINE GALVÃO RODRIGUES

**IDENTIFICAÇÃO DE CLONES DE EUCALIPTO RESISTENTES A ESTRESSE
SALINO¹**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, para obtenção do título de Engenheira Florestal.

Orientadora: Profa. Dra. Anatórcia Ferreira Alves

Imperatriz – MA
2024

¹ Artigo submetido à Revista Semina: Ciências Agrárias – ISSN: 0101-3742

R696i

Rodrigues, Weslaine Galvão

Identificação de clones de eucalipto resistentes a estresse salino. / Weslaine Galvão Rodrigues. – Imperatriz, MA, 2024.

25 f.; il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Florestal) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Imperatriz, MA, 2024.

1. *Eucalyptus* spp. manejo. 2. Melhoramento genético. 3. Salinidade. 4. Tolerância 5. Imperatriz - MA. I. Título.

CDU 634.2:634.9

Ficha elaborada pelo Bibliotecário: **Kacio Micael Oliveira Vidal CRB13/988**

WESLAINE GALVÃO RODRIGUES

**IDENTIFICAÇÃO DE CLONES DE EUCALIPTO RESISTENTES A ESTRESSE
SALINO²**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, para obtenção do título de Engenheira Florestal.

Orientadora: Profa. Dra. Anatórcia Ferreira Alves

Data de aprovação: 17/12/2024

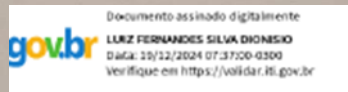
Banca Examinadora

Anatórcia F. Alves

Profa. Dra. Anatórcia Ferreira Alves

Instituição: Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

Orientadora



Prof. Dr. Luiz Fernandes Silva Dionísio

Instituição: Universidade do Estado do Pará

Membro

Michael Douglas Roque Lima

Prof. Dr. Michael Douglas Roque Lima

Instituição: Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

Membro

² Artigo será submetido à Revista Semina: Ciências Agrárias – ISSN: 0101-3742

*À minha mãe, que plantou em mim a semente do amor pelo aprendizado
e regou meus sonhos com apoio e dedicação.*

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Maria, e aos meus irmãos, Wellington, Walison e Watson, por todo amor, apoio e incentivo incondicional durante minha trajetória acadêmica. Vocês foram minha base e minha maior motivação para seguir em frente, mesmo diante dos desafios.

À minha orientadora, Anatórcia, por sua paciência, orientação, e por compartilhar comigo seu conhecimento e experiência, fundamentais para a realização deste trabalho.

Aos meus colegas, Victor, Euzy e Letícia, pelo apoio e contribuição para a execução desse trabalho. E aos meus amigos de curso e centro, em especial, João e Virna, que transformaram essa caminhada em momentos mais leves e inesquecíveis. A convivência, a troca de ideias e o apoio mútuo tornaram esta jornada muito mais significativa.

Aos professores da instituição, que contribuíram de maneira tão valiosa para a minha formação acadêmica e pessoal.

À Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), pelo suporte imprescindível por meio de bolsas e auxílios que me permitiram dedicar-me integralmente aos estudos.

A todos vocês, minha gratidão eterna por terem sido parte dessa importante etapa da minha vida.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	7
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	8
3 RESULTADOS.....	10
4 DISCUSSÃO.....	12
5 CONCLUSÕES.....	14
REFERÊNCIAS.....	14
ANEXOS.....	17

Identificação de Clones de *Eucalyptus* Resistentes ao Estresse Salino

Identification of *Eucalyptus* Clones Resistant to Saline Stress

Weslaine Galvão Rodrigues²; Anatórcia Ferreira Alves³; Luiz Fernandes Silva Dionísio⁴; Michael Douglas Roque Lima⁵

Destaques

Clone I144 tolerante à alta salinidade.

IL aumentou com estresse salino, indicando maior adaptação estrutural.

H, DC e NB correlacionaram-se positivamente com melhor qualidade e biomassa total.

Resumo

O *Eucalyptus* é amplamente cultivado no Brasil, desempenhando um papel significativo na economia e na sustentabilidade local. No entanto, o aumento de áreas com solos salinos, resultante de fatores como o uso de água de baixa qualidade para irrigação, tem se tornado um desafio crescente para a produtividade dessa cultura florestal. Nesse contexto, o melhoramento genético surge como uma ferramenta essencial para o desenvolvimento de genótipos mais resistentes a estresses abióticos, como a salinidade do solo. Este estudo teve como objetivo identificar clones de *Eucalyptus* com maior resistência ao estresse salino no município de Imperatriz, Maranhão. O experimento foi conduzido em um delineamento inteiramente casualizado (DIC), em arranjo fatorial 4 x 4, com quatro clones de *Eucalyptus* e quatro concentrações de cloreto de sódio (NaCl), cada tratamento com cinco repetições. Avaliações quinzenais foram realizadas, incluindo medidas de altura (H), diâmetro do coleto (DC) e número de brotos (NB). Após 60 dias, foram obtidas as massas fresca e seca da raiz e da parte aérea. Além disso, índices como o índice de robustez (IR), índice de lignificação (IL) e índice de qualidade de Dickson (IQD) foram calculados para avaliar a qualidade das mudas sob estresse salino. Entre os clones avaliados, o Clone 1 (I144) destacou-se, apresentando as maiores médias para altura ($77,4 \pm 8,9$ cm), diâmetro do coleto ($0,80 \pm 0,08$ cm), número de brotos (53 ± 13), massa seca da parte aérea (16 ± 4 g) e índice de qualidade de Dickson, o IR apresentou médias menores, demonstrando boa relação entre H e DC. Esses resultados indicam o potencial do Clone 1 para cultivo em condições de salinidade elevada, representando uma alternativa promissora para áreas sujeitas a esse tipo de estresse abiótico.

Palavras-chave: *Eucalyptus* spp., Melhoramento genético, Salinidade, Tolerância.

Abstract

Eucalyptus is widely cultivated in Brazil, playing a significant role in the local economy and sustainability. However, the expansion of areas with saline soils, resulting from factors such as the use of low-quality irrigation water, has become an increasing challenge for the productivity of this forestry crop. In this context, genetic improvement emerges as an essential tool for developing genotypes more resistant to abiotic stresses, such as soil salinity. This study aimed to identify *Eucalyptus* clones with greater resistance to saline stress in

² Estudante do Curso de Engenharia Florestal, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, UEMASUL, Imperatriz, MA, Brasil. E-mail: weslainerodrigues.20190003690@edu.br.

³ Profa. Dra. Centro de Ciências Agrárias, UEMASUL, Imperatriz, MA, Brasil. E-mail: anaterciaa@yahoo.com.br.

⁴ Prof. Dr. Universidade do Estado do Pará, UEPA, Castanhal, PA, Brasil. E-mail: luiz.dionisio@uemasul.edu.br.

⁵ Prof. Dr. Centro de Ciências Agrárias, UEMASUL, Imperatriz, MA, Brasil. E-mail: michael.lima@uemasul.edu.br.

the municipality of Imperatriz, Maranhão. The experiment was conducted using a completely randomized design (CRD) in a 4 x 4 factorial arrangement, with four *Eucalyptus* clones and four concentrations of sodium chloride (NaCl), with five repetitions for each treatment. Biweekly evaluations were performed, including measurements of height (H), collar diameter (CD), and number of shoots (NS). After 60 days, fresh and dry biomass of the root and shoot were obtained. Additionally, indices such as the robustness index (RI), lignification index (LI), and Dickson quality index (DQI) were calculated to assess seedling quality under saline stress. Among the clones evaluated, Clone 1 (I144) stood out, showing the highest averages for height (77.4 ± 8.9 cm), collar diameter (0.80 ± 0.08 cm), number of shoots (53 ± 13), shoot dry mass (16 ± 4 g), and Dickson quality index. The RI showed lower averages, demonstrating a good relationship between H and CD. These results indicate the potential of Clone 1 for cultivation under high salinity conditions, representing a promising alternative for areas affected by this type of abiotic stress.

Key words: *Eucalyptus* spp., Genetic improvement, Salinity, Tolerance.

Introdução

O setor de árvores plantadas no Brasil está em plena expansão, desempenhando um papel significativo na economia e na sustentabilidade ambiental. De acordo com o Instituto Brasileiro de Árvores (IBÁ) 2024), em 2023, a indústria de árvores cultivadas gerou cerca de 2,69 milhões de empregos diretos e indiretos e alcançou uma receita bruta de, aproximadamente, R\$ 202 bilhões. Do ponto de vista ambiental, as florestas plantadas contribuem de maneira crucial para a captura de carbono, a preservação da biodiversidade, especialmente fauna e flora nativa, e a mitigação da erosão do solo.

A área total dedicada a florestas plantadas no Brasil no ano de 2023 foi de 10,2 milhões de hectares. Dentre essa área, 76% foram destinados ao cultivo de *Eucalyptus*, somando 7,8 milhões de hectares. O Maranhão destaca-se como o sétimo estado em termos de área plantada com *Eucalyptus*, com 0,3 milhões de hectares. A produtividade média do *Eucalyptus* no país foi de 33,7 m³/ha/ano com casca, com ciclos de 6 a 7 anos e variações entre 20 e 41,1 m³/ha/ano (IBÁ, 2024).

A salinização, caracterizada pelo acúmulo excessivo de sais solúveis, como NaCl, nos solos, é um problema global que afeta a produtividade agrícola e florestal. Estima-se que cerca de 2.000 hectares sejam degradados diariamente devido à salinidade, impactando mais de 1 milhão de hectares em escala mundial (Cherlinka, 2023). No Brasil, a salinidade é predominante em áreas irrigadas e regiões costeiras, resultante de práticas agrícolas inadequadas e condições climáticas adversas. Esse fenômeno reduz a produtividade das plantas por meio de efeitos osmóticos, toxicidade de íons e desequilíbrios nutricionais, sendo especialmente prejudicial para o crescimento inicial das plantas de *Eucalyptus*. Estudos mostram que a salinidade compromete parâmetros morfofisiológicos dos clones, limitando sua adaptabilidade e desempenho em áreas afetadas (Azevedo et al., 2017, Balti et al., 2021, Oliveira (2018)).

Nesse contexto, o melhoramento genético surge como uma estratégia essencial para superar os desafios impostos pela salinidade. Programas de melhoramento buscam desenvolver genótipos superiores de *Eucalyptus*, otimizando a produção e as características da madeira, bem como aumentando a resistência a doenças e a tolerância a estresses abióticos, incluindo a salinidade (Santos et al., 2015).

Com base na relevância socioeconômica e ambiental do *Eucalyptus* e nos desafios impostos pela salinidade do solo, este estudo teve como objetivo selecionar clones de *Eucalyptus* com maior tolerância ao estresse salino no município de Imperatriz, Maranhão.

Material e Métodos

Localização do experimento

O experimento foi realizado em viveiro, localizada no Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), na cidade de Imperatriz, Maranhão, sob às coordenadas geográficas 5°31'32" de latitude sul, 47°26'35" de longitude oeste e altitude aproximada de 92 m.

Obtenção e aclimação das mudas

As mudas foram obtidas por doação da Universidade Federal do Tocantins (UFT). As mudas foram selecionadas quanto a uniformidade de tamanho e número de folhas e transplantadas para vasos plásticos de 5 dm³ preenchidos com solo proveniente de área experimental da UEMASUL. Foram colocadas uma muda por vaso, com as plantas sendo adubadas no dia do plantio com NPK. As plantas foram irrigadas pela manhã e tarde com água sem solução, conforme a necessidade da planta por um período de 30 dias. Após o tempo de aclimação, iniciou-se os tratamentos com água salina por 60 dias.

Aplicação do estresse salino

Nos primeiros 30 dias do experimento, foi realizada uma irrigação diária com a solução contendo NaCl nas seguintes concentrações: 0, 30, 60 e 90 mmol, em quantidade suficiente para drenar 10% da capacidade de vaso. Nos últimos 30 dias, ocorreram duas irrigações salinas diárias, no período da manhã e à tarde. A avaliação foi realizada a cada 15 dias durante os 60 dias, iniciando no dia do plantio, totalizando cinco avaliações.

Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC), em arranjo fatorial 4 x 4 para o tratamento de estresse, com o primeiro fator consistindo em quatro clones de *Eucalyptus*: CL1, CL2, CL3 e CL4, com as bases genéticas apresentadas na Tabela 1, e o segundo fator com quatro tratamentos de água salina, com cinco repetições por clone. A distribuição do delineamento no viveiro pode ser observada na Figura 1.

Variáveis mensuradas

Foram coletadas informações de altura das mudas (H) com o auxílio de uma régua graduada, do diâmetro do colo (DC) utilizando um paquímetro e contagem do número de brotos, feita por meio de observação visual. Aos 60 dias, as seguintes variáveis foram avaliadas: a) comprimento da parte aérea (CPA), b) comprimento da raiz (CR), c) massa seca da parte aérea (MSPA), d) massa seca da raiz (MSR), e) massa

seca total (MST), f) relação massa seca da parte aérea/massa seca da raiz (MSPA/MSR), g) índice de robustez, h) índice de lignificação, e i) índice de qualidade de Dickson (IQD). A parte aérea e o sistema radicular das plantas foram separados e submetidos à secagem em estufa com circulação de ar forçado a 60°C por um período de quatro dias. Após a secagem, as amostras foram pesadas em balança de precisão analítica para determinação da biomassa seca.

A relação entre massa seca da parte aérea/massa seca da raiz (MSPA/MSR) indica o desenvolvimento das mudas nos viveiros. Ela foi determinada pela equação 1:

$$\text{MSPA/MSR} = \frac{\text{Massa seca da parte aérea (g)}}{\text{Massa seca da raiz (g)}} \quad (1)$$

O índice de robustez (IR) é calculado como a relação entre o comprimento da parte aérea e o diâmetro do coleto, sendo amplamente reconhecido como um indicador importante de qualidade devido à sua precisão e ao fato de ser um método não destrutivo. Valores menores de IR indicam uma melhor capacidade de sobrevivência e estabelecimento das mudas em campo, pois refletem uma relação mais equilibrada entre a altura e o diâmetro da planta. Em contrapartida, mudas com valores elevados de IR tendem a apresentar maior crescimento em altura, mas com um diâmetro insuficiente para acompanhar esse desenvolvimento, resultando em mudas estioladas e com menor probabilidade de sobrevivência (Santos et al., 2017). O IR é calculado conforme a equação 2:

$$\text{IR} = \frac{\text{Comprimento da parte aérea (cm)}}{\text{Diâmetro do coleto (mm)}} \quad (2)$$

O Índice de Lignificação (IL) expressa a relação entre a massa seca total e a massa úmida total, fornecendo uma estimativa da porcentagem de lignificação. A lignina, componente essencial da estrutura vegetal, desempenha um papel crucial no crescimento e na resistência das plantas em condições de estresse abiótico (Sobczak, 2013). Assim, quanto maior o IL, maior é a capacidade de adaptação da planta aos desafios impostos pelo ambiente. Ele foi determinado pela equação 3:

$$\text{IL} = \left(\frac{\text{Massa seca total (g)}}{\text{Massa úmida total (g)}} \right) \quad (3)$$

O índice de qualidade de Dickson (IQD) é amplamente reconhecido como um indicador abrangente da qualidade de mudas. Esse índice integra diversas características morfológicas em um único valor, incluindo a relação altura/diâmetro (H/DC) e o equilíbrio na distribuição da biomassa, representado pela relação entre a MSPA e a MSR. De modo geral, quanto maior o valor do IQD, melhor é a qualidade da muda, conforme descrito por Caldeira et al. (2007). Esse importante índice foi determinado pela equação 4.

$$IQD = \frac{\text{Massa seca total (g)}}{\frac{\text{Comprimento da parte aérea (cm)}}{\text{Diâmetro do colo (mm)}} + \frac{\text{Massa seca da parte aérea (g)}}{\text{Massa seca da raiz (g)}}} \quad (4)$$

Análises estatísticas

O crescimento em altura, diâmetro do colo e número de brotos foi submetido à ANAVA e à análise de regressão subsequente, ajustando as equações aos dados obtidos em função do tempo após o transplante em cada tratamento. Contudo, os dados foram preliminarmente analisados quanto aos pressupostos da ANAVA. A normalidade dos resíduos foi testada por meio do teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$) e visualização com o gráfico Q-Q (Zuur et al., 2009; Crawley, 2013), e homocedasticidade de variância usando o teste de Bartlett ($p > 0,05$). Quando houve interação entre os fatores, foi utilizada a análise de regressão para representar as interações, ajustando as equações aos dados obtidos em função das doses de NaCl após o transplante em cada tratamento. O modelo para cada variável foi selecionado considerando a significância dos coeficientes das variáveis e o maior coeficiente de determinação (R^2). Quando não houve interação entre os fatores, os clones foram comparados utilizando o teste post-hoc de Tukey ($p \leq 0,05$).

A correlação entre os pares de variáveis foi avaliada utilizando o coeficiente de correlação de Pearson, que mede a força e a direção da relação linear entre as variáveis. O coeficiente varia de -1 a 1, onde valores próximos a 1 indicam uma relação positiva forte, ou seja, à medida que uma variável aumenta, a outra também tende a aumentar. Por outro lado, valores próximos a -1 indicam uma relação negativa forte, em que o aumento de uma variável está associado à diminuição da outra (Figueiredo Filho & Silva Júnior, 2009).

Os gráficos foram gerados utilizando o pacote “ggplot2” (Wickham, 2016) e os resultados das análises estatísticas foram obtidos utilizando o pacote “AgroR” (Shimizu et al., 2021). Todas as análises estatísticas foram realizadas no programa R versão 4.2.1 (R Development Core Team, 2022), com nível de significância de 5%.

Resultados

Os clones CL1 e CL4 apresentaram as maiores médias de crescimento acumulado em altura (H) aos 15, 30, 45 e 60 dias após transplantio. Aos 60 dias, os clones CL1 e CL4 apresentaram médias de $77,4 \pm 8,9$ e $72,8 \pm 8,0$ cm de altura, respectivamente, diferindo significativamente dos demais tratamentos ($p = 0,001$), mas não diferiram significativamente entre si (Figura 2a). Para o diâmetro do coleto (DC) (Figura 2b) e número de brotos (NB) (Figura 2c), o CL1 apresentou as maiores médias diferindo significativamente dos demais tratamentos, sendo o DC em média $0,80 \pm 0,08$ cm e NB em média 53 ± 13 brotos por planta. As menores médias foram observadas nos clones CL2 e CL3 para as variáveis H, DC e NB ao longo dos 60 dias do experimento (Figura 2a, 2b e 2c).

Não houve interação entre os fatores clones e tratamentos com NaCl aos 60 dias após o transplantio para as variáveis H, DC e NB (Figura 3). Os valores médios de altura em clones de *Eucalyptus* demonstraram tendência a reduzir com o aumento das doses de NaCl, apresentando uma diminuição aproximada de 10 cm (Figura 3a). Em relação ao DC e ao NB, não foi observado uma tendência clara de como estas variáveis são afetadas em função do incremento das doses de NaCl, conforme ilustrado nas Figuras 3b e 3c, respectivamente.

Não houve interação entre os fatores estudados no presente trabalho para as variáveis da MSPA, relação MSPA/MSR, IL e IR. A MSPA apresentou uma redução linear e significativa em resposta ao aumento da concentração de salinidade na irrigação (Figura 4a). A relação entre MSPA e MSR (Figura 4c) e o IR (Figura 4e) não apresentaram uma tendência clara e definida de acordo com o incremento das doses de NaCl. Já o IL, aumentou em resposta ao aumento do estresse salino neste estudo (Figura 4d).

Houve interação entre os clones e as doses de NaCl apenas para as variáveis MSR e IQD. A MSR reduziu nos clones CL2 e CL3 em função do aumento de NaCl. Para o CL4, houve uma redução dessa variável até a dose de 60 mmol e apresentou um aumento repentino na dose mais elevada de salinidade. CL1 não apresentou uma tendência definida de como as diferentes concentrações de NaCl empregadas nesse presente trabalho afetam sua MSR, porém é possível observar que essa variável apresentou valores mais elevados na dose de 30 mmol, com aproximadamente 25 g, em comparação ao tratamento sem irrigação com solução salina que obteve valores de 17 g para a MSR (Figura 4b).

O IQD mostrou uma tendência crescente para o CL1 em resposta ao acréscimo das doses de cloreto de sódio, e o CL3 apresentou o comportamento contrário, reduzindo conforme o aumento da concentração salina. Os clones CL2 e CL4 variaram sua resposta para esta variável às concentrações salinas sem apresentarem uma tendência definida. Para CL2, o IQD foi maior na dose de 60 mmol e para CL4, o IQD foi maior na dose de 90 mmol (Figura 4f).

Aos 60 dias após o transplante, CL1 e CL4 não apresentaram diferenças significativas e exibiram as maiores H com 77,4 e 72,8 cm, respectivamente, em comparação ao CL2 e CL3, que também não mostraram diferenças significativas entre si (Figura 5a). CL1 apresentou os maiores valores médios para o DC (0,80 cm) e o NB (53 brotos) (Figuras 5b, 5c).

CL1 obteve valores médios superiores para a MSPA com 16 ± 4 g, enquanto CL2 e CL4 não apresentaram diferenças significativas nessa variável, e CL3 apresentou a menor média de biomassa seca com menos de 12 g (Figura 6a). CL3 exibiu a menor média na relação MSPA/MSR, com CL1, CL2 e CL4 não apresentando diferenças estatísticas significativas entre si (Figura 6b).

O índice de lignificação foi maior para CL1 com cerca de $2,6 \pm 0,4$, seguido por CL3 e CL4, que não apresentaram diferenças significativas entre si (Figura 6c). CL4 obteve a maior média no IR (aproximadamente 12 ± 3) em comparação com os outros clones, que não diferiram estatisticamente entre si (Figura 6d).

A Figura 7 mostra as correlações entre os pares de variáveis. A H apresentou uma correlação positiva e significativa com MSPA/MSR, MST, MSPA, NB e DC, Valores maiores de DC corresponderam a maiores médias de IQD, MSPA/MSR, MST, MSPA e NB. O DC mostrou uma relação negativa significativa com o índice de robustez. Maiores médias de NB resultou em MSPA e MST mais elevados. A MSPA elevou os valores médios de IQD, além de melhorar a relação MSPA/MSR e as MST e da MSR. A MSR também contribuiu para aumento no IQD e na MST. A MST apresentou uma correlação positiva e significativa com o IQD. O IR exibiu uma correlação negativa significativa com o IQD,

Discussão

A presença de sais, como o cloreto de sódio (NaCl), na água de irrigação pode impactar negativamente o crescimento e a produtividade das mudas de plantas do gênero *Eucalyptus*. O estresse salino reduz a capacidade das plantas de absorver água, gera toxicidade devido à absorção de íons de Na⁺ e Cl⁻, e compromete o balanço nutricional, afetando a absorção de elementos essenciais como potássio e cálcio (Azevedo et al., 2017; Dias et al., 2016). Esse desequilíbrio ocorre porque os íons Na⁺ competem diretamente com o potássio (K⁺), essencial para o funcionamento estomático e a regulação osmótica. Além disso, o excesso de cloro (Cl⁻) pode interferir na absorção de cálcio, resultando em deficiências estruturais nas paredes celulares. Neste estudo, o impacto da salinidade foi mais pronunciado nos clones CL2 e CL3, enquanto o CL1 mostrou uma capacidade superior de resistência, refletida em um menor decréscimo no crescimento e na qualidade das mudas.

Os resultados obtidos demonstraram que o clone CL1 (I144) apresentou melhores médias para variáveis como H (Figura 4a), DC (Figura 4b), NB (Figura 4c) e MSPA (Figura 5a) aos 60 dias do experimento com NaCl, evidenciando maior tolerância ao estresse salino. Esses resultados são coerentes com Andrade (2019), que também identificou o clone I144 como o mais tolerante, quando comparado com VC865 e I224. A resiliência deste clone pode estar associada a mecanismos fisiológicos, como maior eficiência na exclusão de Na⁺ das folhas e maior manutenção do balanço osmótico, aspectos que poderiam ser investigados em estudos futuros, incluindo análises bioquímicas e moleculares.

Segundo Gonçalves (1992), os parâmetros de H e DC das plantas são características fundamentais de avaliação, uma vez que são necessários para garantir a sobrevivência das mudas no campo, visando à produção de madeira. Para o autor, o maior incremento de diâmetro do coleto está relacionado com uma maior taxa de sobrevivência dos clones em campo devido ao desenvolvimento radicular mais acentuado. Nesse sentido, o CL1 apresentou maiores incrementos para ambos os parâmetros, apresentando potencial para se desenvolver em ambientes salinos, enquanto os CL2 e CL3 demonstraram menor tolerância quando utilizado águas salinas para irrigação (Figura 4a, 4b).

Balti et al. (2021) encontraram em seu estudo sobre espécies de *Eucalyptus* submetidas ao estresse salino resultados semelhantes aos do presente trabalho. Os autores observaram reduções significativas no crescimento das plantas, como a altura que apresentou uma diminuição de cerca de 36% e 34% com 80 mmol e 170 mmol de NaCl, respectivamente, para *E. loxophleba*. Esses valores foram menores em comparação com as demais espécies estudadas, *E. torquata* e *E. gomphocephala*, que apresentaram reduções de 76-84% e 62-76%, respectivamente, sob as mesmas concentrações salinas. Dessa forma, os autores identificaram *E. loxophleba* como a espécie mais tolerante a exposição ao sal em comparação com as demais, nas condições edafoclimáticas de Tunes, na Tunísia.

Diferentemente dos resultados obtidos no presente estudo, nos quais não foram observadas tendências claras e significativas para as variáveis DC e NB, Tavares Filho et al. (2020) identificaram reduções significativas nessas variáveis ao analisar o impacto da salinidade na irrigação de mudas de *Moringa oleifera* quando a salinidade ultrapassou 1,5 dS/m. Esses achados corroboram com os de Oliveira (2018), que, ao estudar dois clones de *Eucalyptus* (VCC865 e CO1407) submetidos a diferentes concentrações de irrigação

com água salina, relatou reduções no crescimento em altura (H) e DC nas condições edafoclimáticas de Vitória da Conquista – BA.

Porém, a MSPA apresentou reduções significativas nos trabalhos supracitados. Nesse contexto, a salinidade pode ter inibido a produção de biomassa da parte aérea ao reduzir a atividade fotossintética, refletindo em menor produção de matéria seca. Esses efeitos foram, em geral, semelhantes aos observados para os clones de *Eucalyptus* avaliados neste estudo.

Lopes e Klar (2009) afirmam que, em híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, menores concentrações de NaCl favorecem a produção de MSR nas mudas. Os resultados do presente estudo corroboram essa afirmação apenas para o clone CL3, cuja MSR diminuiu com o aumento das doses de NaCl. No entanto, o híbrido do clone I144 divergiu dos achados dos autores, apresentando maiores médias de MSR na concentração de 30 mmol. De forma semelhante, o clone CL4 demonstrou médias de MSR comparáveis tanto no tratamento sem salinidade quanto na maior dosagem (90 mmol), indicando um melhor desenvolvimento radicular mesmo sob um nível elevado de estresse salino. Contudo, outras variáveis analisadas para o mesmo clone não apresentaram um desenvolvimento adequado sob essas condições.

Embora a literatura indique que o estresse salino impacta negativamente a qualidade das mudas, os resultados deste trabalho mostraram índices de qualidade de Dickson (IQD) mais elevados para clones de *Eucalyptus* em altas concentrações salinas, em comparação ao tratamento sem adição de NaCl (0 mmol). A única exceção foi o clone CL3, cujo IQD diminuiu em função das doses crescentes de NaCl. Uma possível explicação para esse resultado é que, apesar dos problemas associados ao sódio e ao cloro, a presença desses elementos em concentrações moderadas pode estimular o crescimento e a produção de algumas culturas, como destacado por Faquin (2005). Esse efeito pode ter beneficiado os clones 1, 2 e 4 avaliados neste estudo.

Sá et al. (2023) não observaram efeitos significativos no IQD em mudas de *Toona ciliata* em condições de salinidade ao nível de 5% de probabilidade, resultados semelhantes aos encontrados por Lopes et al. (2019), em que o IQD não apresentou significância estatística ao verificar o crescimento de *Erythrina velutina* em condições de estresse salino, divergindo dos resultados do presente estudo, sugerindo que os efeitos dos sais na qualidade das plantas variam de acordo com a espécie

A maior média de IL para o CL1 pode demonstrar ser um mecanismo de adaptação ao estresse salino. No estudo de Sobczak (2013), que investigou a lignificação em *Eucalyptus* submetidos aos estresses de frio e seca, foi observado que os estresses abióticos apresentaram diferentes efeitos sobre a lignificação, dependendo da espécie de *Eucalyptus*. A autora encontrou aumento na quantidade de lignina nas espécies *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus urograndis* após a recuperação da seca, mas observou uma quantidade reduzida de lignina para *Eucalyptus uroglobulus* sob a mesma condição. Aparentemente, a lignificação pode atuar como uma barreira física contra a absorção excessiva de íons tóxicos, proporcionando maior tolerância às plantas. No entanto, é importante investigar se o aumento da lignificação pode afetar negativamente a qualidade da madeira ou a produtividade em longo prazo, considerando o uso comercial desses clones.

O clone CL4 apresentou a maior média de índice de robustez (IR), o que sugere que ele pode não ser o mais promissor para o estabelecimento em campo aos 60 dias após o transplante. Esse resultado indica que as mudas tiveram bom crescimento em H, mas o DC não se desenvolveu proporcionalmente, como

demonstrado na Figura 1. Por outro lado, os clones CL1, CL2 e CL3 apresentaram boas relações H/DC, refletidas nos valores de IR. No entanto, os clones CL2 e CL3, apesar de demonstrarem boa capacidade de sobrevivência em campo com base no IR, exibiram médias menores para H e DC, o que reduz seu potencial em termos de produtividade de madeira. Diferentemente, o clone CL1 manteve um IR equilibrado, acompanhado de maiores incrementos em H e DC, destacando-se como uma opção mais interessante tanto para sobrevivência quanto para produtividade em campo.

A altura das mudas apresentou uma correlação positiva significativa com vários parâmetros, incluindo MSPA/MSR, MST, MSPA, NB e DC, sugerindo que maiores alturas estão associadas a melhores desenvolvimentos nessas variáveis. O DC também se correlacionou positivamente com essas variáveis, embora tenha mostrado uma correlação negativa com o IR. Isso sugere que, um maior diâmetro do colo reflete numa menor robustez geral da muda, indicando maior propensão ao estabelecimento inicial das mudas em campo. Esses parâmetros são fundamentais em programas de melhoramento genético, pois permitem a seleção de plantas mais vigorosas e adaptadas a condições adversas.

O NB foi positivamente correlacionado com a MSPA e MST, visto que um maior destacando sua importância como indicador do potencial de biomassa seca das mudas. O IR, por sua vez, mostrou uma correlação negativa significativa com o IQD, indicando que um maior IR reflete em uma menor qualidade geral das mudas, conforme avaliado pelo IQD.

Conclusões

O clone CL1 (I144) destacou-se por apresentar os melhores resultados em crescimento em altura, diâmetro do coleto, número de brotos e massa seca da parte aérea. Além disso, alcançou as melhores médias em índices de qualidade, como IL e IQD, e menor média no IR evidenciando maior crescimento, qualidade e tolerância sob altas concentrações salinas. Estudos futuros podem explorar o desempenho do clone em condições de campo com variações naturais de salinidade e investigar detalhadamente os mecanismos fisiológicos e genéticos subjacentes à sua elevada tolerância ao estresse salino.

Referências

- Andrade, J. R. de. (2019). Bioquímica e ecofisiologia de clones de *Eucalyptus* submetidos à salinidade do solo na fase inicial de crescimento [Tese de Doutorado, Universidade Federal de Alagoas, Alagoas, SP, Brasil].
- Azevedo, P. R. L., Bezerra, D. E. L., Souto, F. M., Bitu, S. G., Pereira Junior, E. B. (2017). Efeito dos sais e da qualidade da água no solo e na planta. *Revista de Agroecologia no Semiárido*, 1(1), 01-12 doi: 10.35512/ras.v1i1.1640.
- Balti, H., Abassi, M., Dietz, K-J., Kumar, V. (2021). Differences in ionic, enzymatic, and photosynthetic features characterize distinct salt tolerance in *Eucalyptus* species. *Plants*, 10(1401), doi: 10.3390/plants10071401.

- Caldeira, M. V. W., Marcolin, M., Moraes, E., Schaadt, S. S. (2007). Influência do resíduo da indústria do algodão na formulação de substrato para produção de mudas de *Schinus terebinthifolius* Raddi, *Archontophoenix alexandrae* Wendl. et Drude e *Archontophoenix cunninghamiana* Wendl. et Drude. *Ambiência*, 3(3), 1-8.
- Cherlinka, V. (2023). Salinização do solo: como preveni-la e geri-la. *EOS Data Analytics*, <https://eos.com/pt/blog/salinizacao-do-solo/>.
- Crawley, M. J. (2013). *The R Book*, second ed. Wiley, London.
- Dias, N. da S., Blanco, F. F., Souza, E., Ferreira, J. F. S., Neto, O. N. de, Queiroz, I. S. R. de. (2016). Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. In: Dias, N. da S. (Org.), *Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados*, Fortaleza. INCTSal.
- Faquin, V. (2005). *Nutrição mineral de plantas*. Lavras: FAEPE.
- Figueiredo Filho, D. B., Silva Júnior, J. A. da. (2009). Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson (r). *Revista Política Hoje*, 18(1).
- Gonçalves, M. R. (1992). *Crescimento, acúmulo de nutrientes e temperatura da copa de cinco espécies de Eucalyptus spp. sob dois regimes hídricos* [Dissertação em mestrado, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, Brasil].
- IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores. (2023). *Relatório anual 2022*. Brasília, DF, Brasil.
- Lopes, T. C., Klar, A. E.. (2009). Influência de diferentes níveis de salinidade de solo sobre aspectos morfofisiológicos de mudas de *Eucalyptus urograndis*. *Irriga*. 14(1), 68-75.
- Lopes, M. de F. de Q., Silva, T. I. da, Nóbrega, J. S., Silva, R. T. da, Figueiredo, F. R. A., Bruno, R. de L. A. (2019). Crescimento de *Erythrina velutina* wild. submetida a estresse salino e aplicação de ácido salicílico. *Colloquium Agrariae*, 15(4), 31-38, doi: 10.5747/ca.2019.v15.n4.a309.
- Oliveira, F. de S. (2018). *Efeitos da irrigação com água salina no crescimento inicial e na produção de fitomassa em clones de eucalipto* [Dissertação de mestrado, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, BA, Brasil].

- R Core Team. (2022). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. Available on: <https://www.r-project.org/>. Accessed on: Jan. 2024.
- Santos, G. A., Resende, M. D. V., Silva L. D., Higa, A., E Assis, T. F. (2015). Interação genótipos x ambientes para produtividade de clones de eucalipto no Rio Grande do Sul. *Revista Árvore*, 39(1), 81-91, doi: 10.1590/0100-67622015000100008.
- Santos, S. M. S. dos., Cunha, D. V. P. da., Silva, R. A., Teixeira, E. C., Carvalho, F. D. (2017). Avaliação morfofisiológica em mudas de clones de eucalipto em viveiros comerciais na etapa de expedição. *Revista cultivando o saber*, 10(2), 87-99.
- Shimizu, G., Marubayashi, R., Goncalves, L. (2023). AgroR: Experimental Statistics and Graphics for Agricultural Sciences_. R package version 1.3.5. Available on: <https://CRAN.R-project.org/package=AgroR>. Accessed on: Jan 2024.
- Silva, C. R. A., Ribeiro, A., Oliveira, A. S. de, Klippel, V. H., Barbosa, R. L. P. (2015). Desenvolvimento biométrico de mudas de eucalipto sob diferentes lâminas de irrigação na fase de crescimento. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 35(84), 381-390, doi: 10.4336/2015.pfb.35.84.897.
- Sobczak, J. C. M. S. M. (2013). Lignificação em eucaliptos submetidos aos estresses de frio e seca: aspectos bioquímicos e moleculares [Tese de doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil].
- Sá, L. C. de, Lazarotto, M., Avrella, E. D., Hilgert, M. A., Fior, C. S. (2023). Estresse hídrico e salino no crescimento inicial de mudas de *Toona ciliata* var. *australis*. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 43, 1-11, doi: 10.4336/2023.pfb.43e202002108.
- Tavares Filho, G. S., Silva, D. F. da, Lins, R. C., Araújo, C. A. de S., OLIVEIRA, F. F. de, MATIAS, S. S. R. (2020). Desenvolvimento de mudas de *Moringa oleifera* (LAM) submetida a diferentes níveis de água salina. *Brazilian Journal of Development*, 6(6), 48671-48683, doi: 10.34117/bjdv6n7-493.
- Wickham, H. (2016). ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York.
- Zuur, A., Ieno, E. N., Walker, N., Saveliev, A. A., Smith, G. M. (2009). Mixed effects models and extensions in ecology with R. *Springer*, New York.

ANEXOS

Tabela 1. Clones de *Eucalyptus* avaliados durante os 60 dias do experimento.

Clone	Nome Comercial	Base genética
CL1	I144	Híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i>
CL2	NA*	<i>E. tereticornes</i>
CL3	1445	Híbrido de <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>
CL4	NA*	<i>E. grandis</i>

*Não se aplica

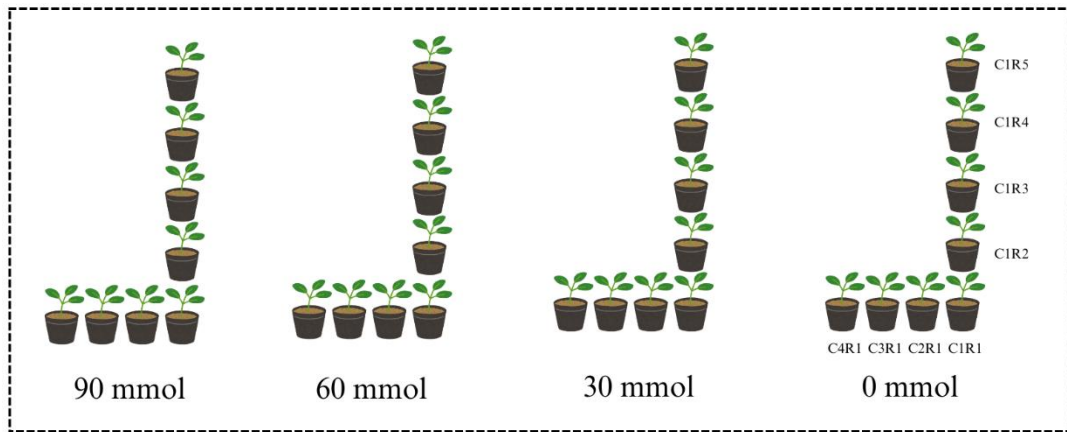


Figura 1. Representação da distribuição das mudas em DIC no viveiro, na UEMASUL.

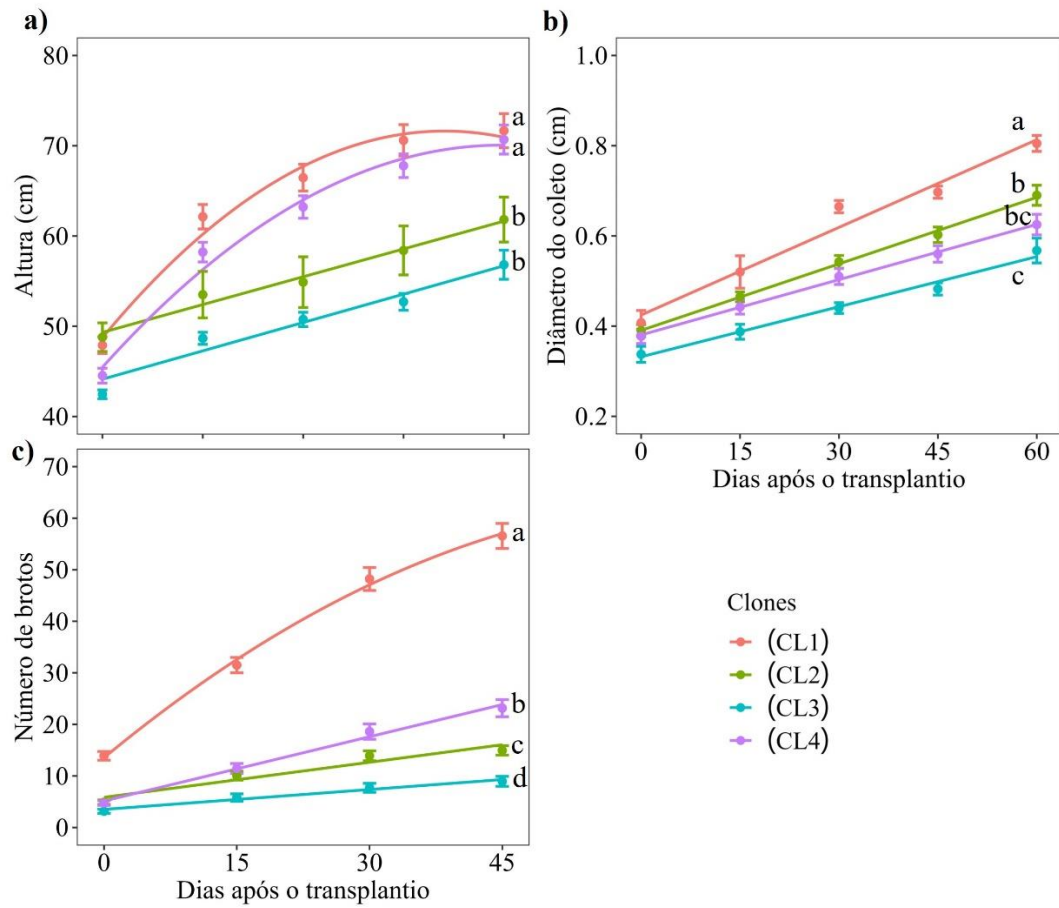


Figura 2. Crescimento médio acumulado em altura (a), diâmetro do coleto (b) e número de brotos de clones de *Eucalyptus* ao longo de 60 dias após o transplântio. Clone 1 (I144), Clone 2 (baseado em *E. tereticornes*), Clone 3 (1445) e Clone 4 (baseado em *E. grandis*).

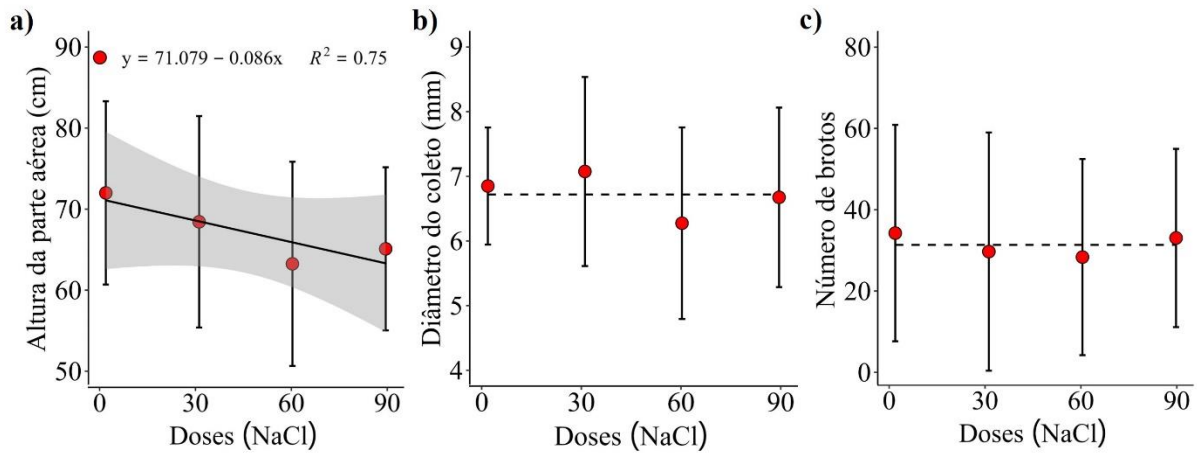


Figura 3. Valores médios de altura (a), diâmetro do coleto (b), e número de brotos (c) em função de doses de *NaCl*: 0; 30; 60, 90 mMol em clones de *Eucalyptus* aos 60 dias após o transplantio.

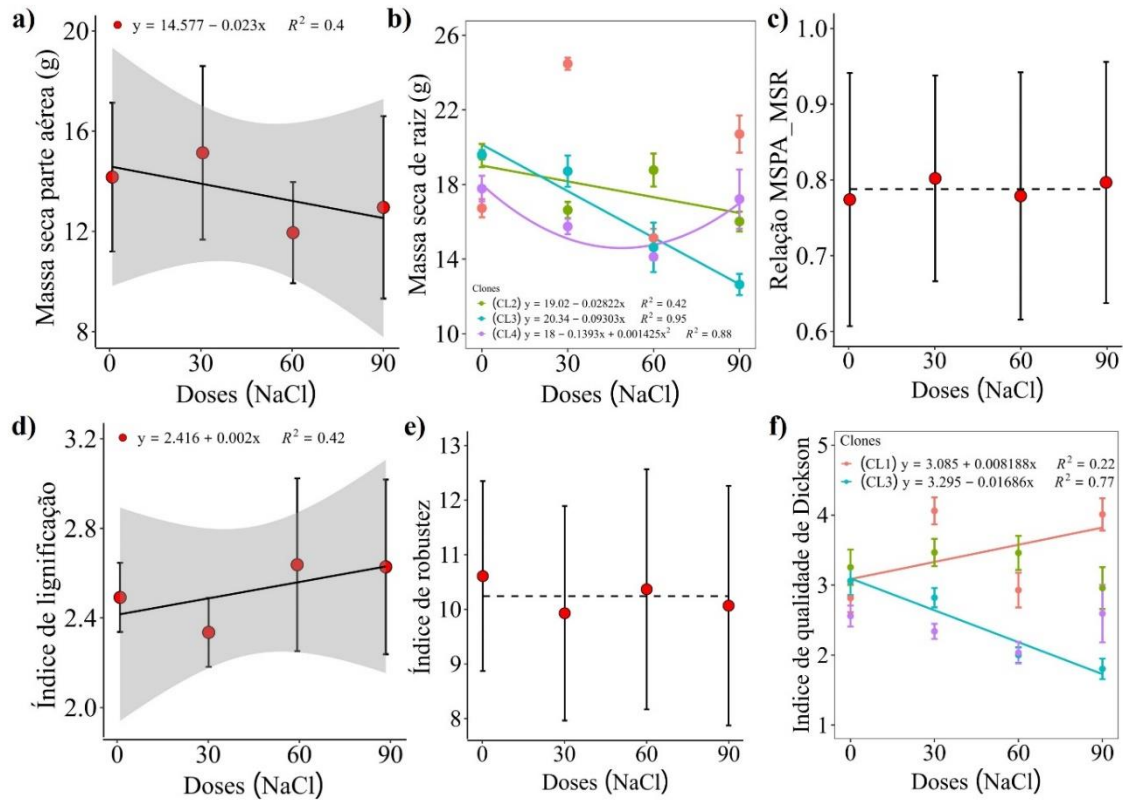


Figura 4. Valores médios de massa seca da parte aérea (a), massa seca raiz (b), relação massa seca da parte aérea/massa seca de raiz (c), índice de lignificação (d), índice de robustez (e) e, (f) Índice de Qualidade de Dickson em função de doses de *NaCl*: 0; 30; 60, 90 mMol em clones de *Eucalyptus* aos 60 dias após o transplantio.

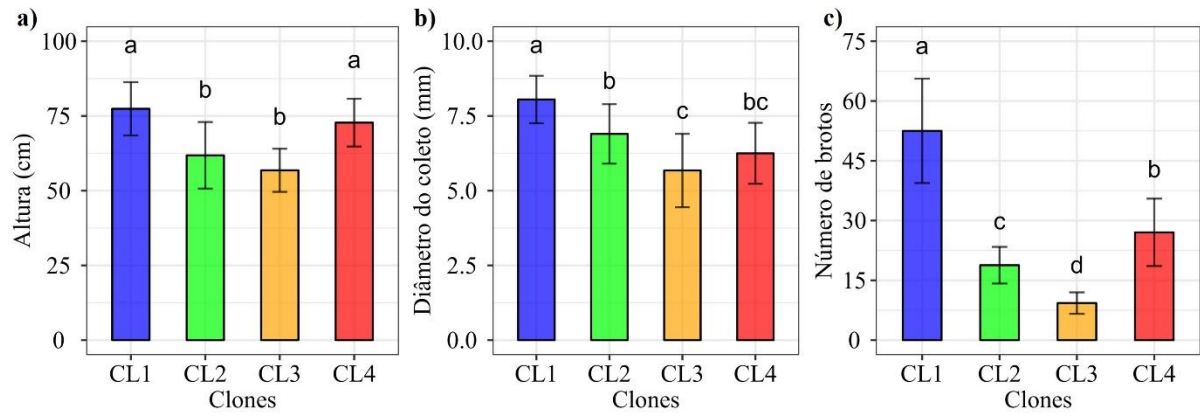


Figura 5. Valores médios de altura (a), diâmetro do coleto (b), e número de brotos (c) de clones de *Eucalyptus* aos 60 dias após o transplante.

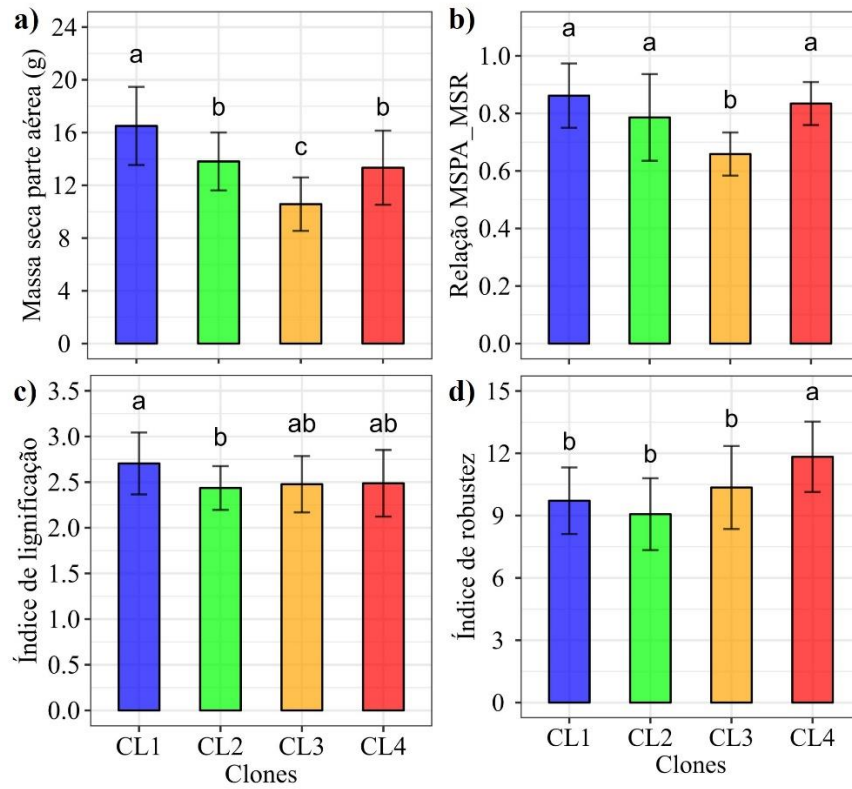
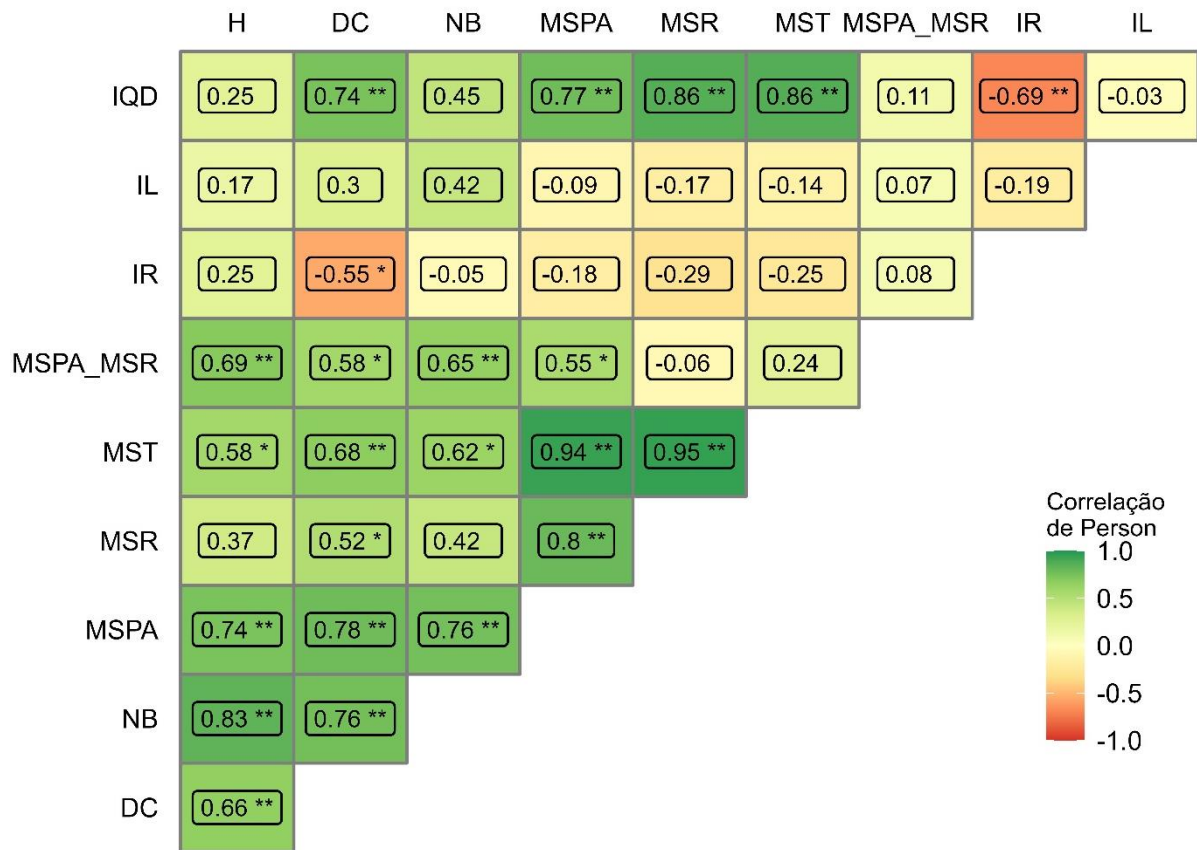


Figura 6. Valores médios de massa seca da parte aérea (a), relação massa seca da parte aérea/massa seca de raiz (b), índice de lignificação (c), índice de robustez (d) de clones de *Eucalyptus* aos 60 dias após o transplântio.



*p<0.05; **p<0.01

Figura 7. Correlação de Pearson entre parâmetros morfológicos de clones de *Eucalyptus* aos 60 dias após o transplântio. H - Altura; CD - Diâmetro do coleto; MSPA- Massa seca da parte aérea; MSR - Massa seca de raiz - MST - Massa seca total; MSPA_MSR – relação massa seca da parte aérea/massa seca de raiz; IR - Índice de Roubustez; IL - Índice de lignificação; IQD - Índice de Qualidade de Dickson.