

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

Regina Pase

**OTIMIZAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE *Eucalyptus* spp. A PARTIR
DA SUPLEMENTAÇÃO LUMINOSA EM MINIJARDIM CLONAL**

Santa Maria, RS.

2024

Regina Pase

**OTIMIZAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE *Eucalyptus* spp. A PARTIR
DA SUPLEMENTAÇÃO LUMINOSA EM MINIJARDIM CLONAL**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito para obtenção do título de **Mestra em Engenharia Florestal**.

Orientadora: Prof. Dr^a. Maristela Machado Araujo

Santa Maria, RS.
2024

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

Pase, Regina
OTIMIZAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE Eucalyptus spp. A
PARTIR DA SUPLEMENTAÇÃO LUMINOSA EM MINIJARDIM CLONAL /
Regina Pase.- 2024.
49 p.; 30 cm

Orientadora: Maristela Machado Araujo
Coorientadora: Felipe Turchetto
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2024

1. Intensidade luminosa 2. Miniestufa 3. Produção de
miniestacas 4. Sazonalidade I. Machado Araujo, Maristela
II. Turchetto, Felipe III. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, REGINA PASE, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

Regina Pase

**OTIMIZAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE *Eucalyptus* spp. A PARTIR DA
SUPLEMENTAÇÃO LUMINOSA EM MINIJARDIM CLONAL**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito para obtenção do título de **Mestra em Engenharia Florestal**.

Aprovada em 26 de fevereiro de 2024.

Maristela Machado Araujo, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientadora)

Daniele Fernanda Zulian (IRANI)

Ezequiel Gasparin (UFSM)

Santa Maria, RS.

2024

*Aos meus pais Estelamaris e Valdir, aos
meus irmãos Juliano e Marcos, dedico
este trabalho!*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida, por iluminar e abençoar meus caminhos, por todas as possibilidades durante esse período, que me levaram até este momento.

A minha família, em especial meus pais, Estelamaris e Valdir por todo amor, apoio, carinho, e por todas as oportunidades que me ofereceram. Aos meus irmãos, Juliano e Marcos, por todo o amor e companheirismo. Aos meus padrinhos, Leani Carmem e Paulinho, por vibrarem a cada conquista e me apoiar em todas minhas decisões. Amo todos vocês.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de pós-Graduação em Engenharia Florestal, pela oportunidade e acesso ao conhecimento de qualidade.

A professora Maristela Machado Araujo, pela oportunidade que me concedeste ao me orientar durante os dois anos de mestrado, por todos os ensinamentos e contribuições.

Ao Laboratório de Silvicultura e Viveiro Florestal, por toda estrutura disponibilizada, as colegas Cláudia e Julia, por toda ajuda, e aos demais integrantes

A banca examinadora por terem aceitado o convite e colaboração com o presente trabalho.

A Coordenadoria de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa por todo o período de mestrado.

A empresa CMPC - Celulose Riograndense pela parceria com o Laboratório de Silvicultura e Viveiro Florestal UFSM e por disponibilizado os materiais genéticos para o experimento.

A todos o meu muito obrigada!

RESUMO

OTIMIZAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE *Eucalyptus* spp. A PARTIR DA SUPLEMENTAÇÃO LUMINOSA EM MINIJARDIM CLONAL

AUTORA: Regina Pase

ORIENTADORA: Maristela Machado Araujo

Espécies do gênero *Eucalyptus* encontram-se na lista das mais plantadas no mundo, ocupando cerca de 7,6 milhões de hectares no Brasil, o que inclui diferentes materiais genéticos cultivados principalmente nas regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste. Recentemente, com o uso das miniestufas sobre os minijardins clonais (MJC), obteve-se maior controle da temperatura, umidade relativa do ar e concentração de CO₂ sob as minicepas, promovendo a melhoria da qualidade do material a ser propagado. No entanto, em regiões subtropicais durante o outono e inverno, a produtividade é limitada pela redução de brotações das minicepas, em resposta à redução do fotoperíodo e temperatura. Diante do exposto, objetivou-se avaliar o efeito da suplementação luminosa em adição à miniestufa sobre a produtividade de minicepas de *E. saligna* e *E. urophylla* x *E. globulus* durante a estação do inverno. A pesquisa foi realizada no Sul do Brasil, região com sazonalidade e inverno, que resulta em baixa produtividade vegetal. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, sendo constituídos de três manejos do MJC (T1 - SME: MJC sem miniestufa, somente com luz natural, considerado como testemunha; T2 - CME: MJC coberto com miniestufa; T3 - ME+L: MJC com miniestufa associado à luz led branca em fotoperíodo de 24 horas) contendo quatro repetições de 24 minicepas. Os atributos fisiológicos e a produtividade das minicepas, bem como o enraizamento das miniestacas, qualidade das mudas produzidas e os fatores ambientais foram avaliados nos três MJCs. As coletas de miniestacas foram realizadas semanalmente, obtendo-se a produtividade mensal por minicepa, enquanto as avaliações de sobrevivência e enraizamento foram realizadas aos 45 e 90 dias após estaqueamento. Também foram avaliados os atributos morfológicos das mudas aos 120 dias após o estaqueamento. A miniestufa associada a suplementação luminosa promoveu aumento da temperatura, umidade relativa do ar e CO₂. As minicepas dos clones *E. saligna* e *E. urophylla* x *E. globulus*, quando conduzidas em ambiente com suplementação luminosa (ME+L), apresentaram aumento de 23% na produtividade (nº miniestaca/cepa/mês), em relação ao SME e CME. Entretanto, as miniestacas obtidas no ME+L expressaram maior demanda nutricional por N, evidenciando sintomas por manchas foliares, devido à maior demanda nutricional em resposta à produção elevada de brotações. Apesar disso, o enraizamento das miniestacas não foi afetado significativamente pelos manejos no MJC. As mudas do híbrido *E. urophylla* x *E. globulus* produzidas a partir do ambiente ME+L apresentaram maior qualidade morfológica ao considerar altura e diâmetro. Conclusivamente, o uso da miniestufa associado à suplementação luminosa contribuiu efetivamente para aumentar a produtividade de miniestacas na estação do inverno, permitindo redução da área de MJC utilizada para suprir a demanda de mudas em regiões subtropicais.

Palavras-chave: Intensidade luminosa; Miniestufa; Produção de miniestacas; Sazonalidade.

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF PRODUCTIVITY OF *Eucalyptus* spp. FROM LIGHT SUPPLEMENTATION IN CLONAL MINI GARDEN

AUTHOR: Regina Pase

ADVISOR: Maristela Machado Araujo

Species of the *Eucalyptus* genus are on the list of the most planted in the world, occupying around 7,6 million hectares in Brazil, which includes different genetic materials cultivated mainly in the Southeast, South and Central-West regions. Recently, with the use of mini greenhouses on mini clonal gardens (MJC), greater control of temperature, relative air humidity and CO₂ concentration was obtained under the mini stumps, promoting an improvement in the quality of the material to be propagated. However, in subtropical regions during autumn and winter, productivity is limited by reduced sprouting of ministumps in response to reduced photoperiod and temperature. In view of the above, the objective was to evaluate the effect of light supplementation in addition to the mini-greenhouse on the productivity of mini-strains of *E. saligna* and *E. urophylla* x *E. globulus* during the winter season. The research was carried out in the South of Brazil, a region with seasonality and winter, which results in low plant productivity. The experimental design used was randomized blocks, consisting of three MJC managements (T1- SME: MJC without mini-greenhouse, only with natural light, considered as control; T2 - CME: MJC covered with mini-greenhouse; T3 - ME+L: MJC with mini-greenhouse associated with white LED light in a 24-hour photoperiod) containing four replications of 24 mini-stumps. The physiological attributes and productivity of the mini-stumps, as well as the rooting of the mini-cuttings, quality of the seedlings produced and environmental factors were evaluated in the three MJCs. Minicuttings were collected weekly, obtaining monthly productivity per ministump, while survival and rooting assessments were carried out at 45 and 90 days after cutting. The morphological attributes of the seedlings were also evaluated 120 days after staking. The mini-greenhouse associated with light supplementation promoted an increase in temperature, relative humidity and CO₂. The ministumps of the *E. saligna* and *E. urophylla* x *E. globulus* clones, when grown in an environment with light supplementation (ME+L), showed a 23% increase in productivity (number of minicuttings/strain/month), in relation to the SME and CME. However, the minicuttings obtained from ME+L expressed greater nutritional demand for N, showing symptoms due to leaf spots, due to the greater nutritional demand in response to the high production of shoots. Despite this, the rooting of the minicuttings was not significantly affected by management in the MJC. The *E. urophylla* x *E. globulus* hybrid seedlings produced from the ME+L environment showed greater morphological quality when considering height and diameter. Conclusively, the use of the mini-greenhouse associated with light supplementation effectively contributes to increasing the productivity of minicuttings in the winter season, allowing a reduction in the MJC area used to meet the demand for seedlings in subtropical regions.

Keywords: Light intensity; Mini greenhouse; Production of minipiles; Seasonality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema gráfico do delineamento experimental e dos manejos do MJC utilizados durante o estudo, inverno 2023, no sul do Brasil.....	22
Figura 2 – Temperatura (a), umidade relativa do ar (b), intensidade luminosa (c) e concentração de CO ₂ (d) no minijardim clonal durante a estação do inverno 2023, no sul do Brasil.....	27
Figura 3 – Produtividade de miniestacas em diferentes manejos de MJC, durante a estação do inverno 2023, no sul do Brasil.	29
Figura 4 - Potencial hídrico no período do meio-dia e madrugada sob diferentes manejos de MJC, inverno 2023, no sul do Brasil.	29
Figura 5 - Rendimento quântico do fotossistema II (Fv/Fm) sob diferentes manejos de MJC, inverno 2023, no sul do Brasil.	30
Figura 6 – Enraizamento de miniestacas de <i>E. saligna</i> e <i>E. urophylla</i> x <i>Eucalyptus globulus</i> , inverno 2023, no sul do Brasil.	32
Figura 7 - Incremento em altura nos diferentes ambientes do MJC (a) e para os clones <i>E. saligna</i> e <i>E. urophylla</i> x <i>E. globulus</i> (b), inverno 2023, no sul do Brasil.	32
Figura 8 - Diâmetro do colo dos clones <i>E. saligna</i> e <i>E. urophylla</i> x <i>E. globulus</i> , cultivados sob diferentes manejos de MJC, inverno 2023, no sul do Brasil.	33
Figura 9 - Massa seca da parte aérea (a) e massa seca total (b) de mudas provenientes de miniestacas produzidas sob diferentes manejos de MJC, inverno 2023, no sul do Brasil.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição da solução nutritiva aplicada no MJC do Laboratório de Silvicultura e Viveiro Florestal da UFSM, Santa Maria, RS.	21
--	----

LISTA DE ANEXOS

Anexo A – Montagem do minijardim clonal, em que (a) revestimento do Kalhetão® com lona, (b) camada de brita (5 cm), (c) sombrite para evitar que a areia se misture com a brita e (d) camada de areia (utilizada como substrato para plantio das mudas), no sul do Brasil.	44
Anexo B - Podas de formação das minicepas, no formato taça baixa, em que (a e a1) primeira poda, (b e b1) segunda poda e (c e c1) retirada de brotos ladrão e terceira poda, no sul do Brasil.	44
Anexo C – Manejos utilizados no MJC: (a) sem miniestufa - SME, (b) com miniestufa - CME e (c) miniestufa + suplementação luminosa ME+L, no sul do Brasil.	45
Anexo D– Cobertura com filme plástico preto para impedir a passagem da luz para os outros tratamentos, em que (a) sem filme plástico preto e (b) com filme plástico preto, no sul do Brasil.	45
Anexo E - Confeção das miniestacas, em que (a) E. saligna e (b) de E. urophylla x E. globulus, no sul do Brasil.	46
Anexo F - Análise da emissão de fluorescência da clorofila, sendo (a) com prévia aclimação da folha por 30 minutos no escuro e (b) folha submetida a pulso de luz e análise do rendimento quântico por meio da fluorescência da clorofila a, no sul do Brasil.	46
Anexo G - Mensuração da altura (a) e diâmetro do colo (b) para caracterização morfológica das mudas, no sul do Brasil.	46
Anexo H - Análise nutricional das miniestacas de E. saligna (Saligna) e E. urophylla x E. globulus em diferentes manejos de MJC (sem miniestufa – SME, com miniestufa – CME e miniestufa + suplementação luminosa – ME+L), no sul do Brasil.	48
Anexo I - Sintomas visuais de deficiência nutricional nos ambientes CME e ME+L, em que (a) E. saligna e (b) E. urophylla x E. globulus, durante período do experimento, no sul do Brasil.	49

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. HIPÓTESES	14
3. OBJETIVOS	15
3.1 OBJETIVO GERAL	15
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
4.1 O GÊNERO <i>Eucalyptus</i>	15
4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS GENÉTICOS	16
4.2.1 <i>Eucalyptus saligna</i> Smith	16
4.2.2 <i>Eucalyptus urophylla</i> S.T. Blake x <i>Eucalyptus globulus</i> Labill.....	17
4.3 MINIESTAQUA.....	18
4.4 MINIESTUFA.....	19
4.5 SUPLEMENTAÇÃO LUMINOSA.....	19
5. MATERIAL E MÉTODOS	21
5.1 MINIJARDIM CLONAL (MJC)	21
5.2 DESENHO EXPERIMENTAL	22
5.3 VARIÁVEIS AMBIENTAIS.....	23
5.4 PRODUÇÃO DE MINIESTACAS.....	24
5.5 ATRIBUTOS FISIOLÓGICOS DAS MINICEPAS	24
5.5.1 Potencial hídrico (Ψ_w)	24
5.5.2 Fluorescência da clorofila <i>a</i>	24
5.5.3 Análise nutricional das minicepas	25
5.6 ENRAIZAMENTO	25
5.7 ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS DAS MUDAS	26
5.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	26
6. RESULTADOS	27
6.1 VARIÁVEIS AMBIENTAIS.....	27
6.2 PRODUTIVIDADE	28
6.3 ATRIBUTOS FISIOLÓGICOS DAS MINICEPAS	29
6.4 ESTADO NUTRICIONAL DAS MINICEPAS	31
6.5 ENRAIZAMENTO	31
6.6 ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS DAS MUDAS	32
7. DISCUSSÃO	34

8. CONCLUSÃO.....	39
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
10. ANEXOS.....	44

1. INTRODUÇÃO

Espécies do gênero *Eucalyptus* apresentam rápido crescimento e rendimento industrial. São plantadas em cerca de 22 milhões de hectares em aproximadamente uma centena de países (ZHANGH; WANG, 2021). Nos últimos anos, houve um aumento das áreas destinadas à implantação de povoamentos florestais no Brasil, principalmente com espécies do gênero *Eucalyptus*, devido a ampla adaptação edafoclimática e maior demanda de produtos madeireiros. Em 2022, o Brasil possuía cerca de 7,6 milhões de hectares reflorestados com as diferentes espécies deste gênero, sendo que do total, aproximadamente, 18% estão localizados na região Sul (IBÁ, 2023).

O sucesso da implantação de florestas plantadas está diretamente associado à evolução das técnicas utilizadas para a produção de mudas de materiais genéticos superiores, principalmente, via propagação vegetativa, sendo que a miniestaquia proporcionou ao setor florestal o aumento da produção de mudas com elevada qualidade morfofisiológica e capacidade rizogênica (HIGASHI et al., 2000; KONZEN et al., 2018). Isso ocorre porque essa técnica utiliza brotações apicais juvenis (miniestacas), coletadas a partir de minicepas, com objetivo de produzir propágulos em minijardim clonal (ambiente semicontrolado em viveiro florestal). Assim, a técnica de miniestaquia está associada ao controle adequado das condições hídricas, nutricionais, ambientais e fitossanitárias das plantas fornecedoras de propágulos vegetativos (TITON et al., 2003; ASSIS et al., 2004, DAVIES; GENEVE; WILSON, 2018, GRIEBELER et al., 2023).

A evolução desse processo tem sido consolidada a partir do estabelecimento de minijardins clonais sob cobertura baixa (60-80 cm de altura sobre o canteiro), tipo miniestufas. A partir dessa prática foi possível manter o maior controle das condições microclimáticas (temperatura, umidade relativa do ar e concentração de CO₂), aumento da produtividade e enraizamento (outono e inverno) e controle de doenças nas minicepas (BATISTA et al., 2015; LIMA et al., 2021; COSTELLA, 2021). O sucesso das práticas utilizadas na propagação vegetativa decorre do desenvolvimento de protocolos acurados, que determinem o melhor manejo quanto aos fatores ambientais. Nesse sentido, irrigação, adubação, temperatura, intensidade de luz e fotoperíodo são fatores fundamentais para aumentar a predisposição à produtividade e enraizamento (ASSIS et al., 2004; ALFENAS et al., 2009; ENGEL et al., 2018).

Nesse contexto, a formação da minicepa deve considerar uma arquitetura que maximize a interceptação luminosa e a coleta das miniestacas próximo a sua base, condições estas que proporcionarão maior produtividade e enraizamento de miniestacas. A condução da minicepa

na forma de “meia taça” propicia maior distribuição da luminosidade nos brotos, bem como aeração, maximizando o crescimento e reduzindo a presença de doenças. Entretanto, a manutenção dos pontos de coleta e a frequência com que os brotos serão coletados varia de acordo com o material genético, região (sazonalidade) e manejo.

A região sul do Brasil é marcada por estações bem definidas, onde os invernos são caracterizados pela diminuição da temperatura e do fotoperíodo. Essas mudanças fazem com que a produtividade em sistemas de minijardim clonal seja reduzida, limitando a disponibilidade de mudas nos períodos de plantio (setembro e outubro). Assim, identificar as condições ideais de luminosidade, temperatura e umidade relativa do ar para maximização do crescimento e desenvolvimento das mudas é fundamental, pois permite a elaboração de protocolos de propagação eficientes (CUNHA et al., 2009; ALTOÉ et al., 2011). O fotoperíodo e a qualidade da luz são fatores ambientais essenciais para o metabolismo e manutenção da taxa fotossintética das plantas, a fim de garantir a elevada produtividade de brotações, sem comprometer o vigor vegetativo das minicepas (HARTMANN et al., 2011).

A luz incidente sobre as minicepas pode ser manejada pelo controle da irradiância, fotoperíodo e qualidade, de acordo com o comprimento de onda, com o objetivo de melhorar a multiplicação de brotações, aumentando a reserva de carboidratos, assim, melhorando a sobrevivência e enraizamento de miniestacas no inverno (DAVIES; GENEVE; WILSON, 2018). Além disso, a qualidade da luz interfere nos órgãos vegetais, visto que há correspondência direta entre fenômenos fotobiológicos específicos e o espectro de absorção pelas plantas (BATISTA et al., 2018).

Neste contexto, Oliveira et al. (2021) constataram a influência positiva da suplementação luminosa na produtividade de minicepas de *Eucalyptus dunnii* Maiden, diante o uso de luz artificial mantida por 24h sobre o minijardim clonal. O manejo da luz associado com o uso da miniestufa possibilita aumento da temperatura, bem como a maior concentração de CO₂, favorecendo a condição do ambiente de produção (BATISTA et al., 2015; LIMA et al., 2021; GRIEBELER et al., 2023). A elevação destas variáveis ambientais durante o inverno pode potencializar a fotossíntese diante da disponibilidade de outros fatores abióticos (DAVIES; GENEVE; WILSON, 2018; GRIEBELER et al., 2023).

2. HIPÓTESES

- I. A suplementação luminosa no minijardim clonal associada a miniestufa, potencializa a produtividade de miniestacas, durante o inverno.

- II. Miniestacas produzidas diante da presença de suplementação luminosa e uso de miniestufa apresentam maior percentual de enraizamento e mudas com maior qualidade morfofisiológica.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Caracterizar o efeito da suplementação luminosa, na presença de miniestufa em minijardim clonal, sobre a produtividade e enraizamento de miniestacas dos clones de *E. saligna* e *E. urophylla* x *E. globulus* durante a estação do inverno.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Verificar se a suplementação luminosa (luz led branca), aplicada durante o período de 24h, potencializa a produção de miniestacas em relação a testemunha (luz natural).
- II. Definir as condições ambientais capazes de maximizar a produtividade de miniestacas no inverno.
- III. Identificar se a suplementação luminosa aumenta a capacidade de enraizamento nas miniestacas.
- IV. Avaliar o efeito dos diferentes manejos de luz no minijardim clonal na qualidade morfológica e fisiológica de mudas dos clones *E. saligna* e *E. urophylla* x *E. globulus*.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 O GÊNERO *Eucalyptus*

O gênero *Eucalyptus* pertence à família Myrtaceae e ocorre naturalmente na Austrália, Tasmânia, Indonésia e outras ilhas da Oceania. Atualmente, existem mais de 700 espécies reconhecidas botanicamente, as quais possuem diversas propriedades físicas e químicas da madeira, fazendo com que o gênero tenha ampla gama de finalidades (lenha, celulose e papel, chapas, geração de energia, entre outros) (EMBRAPA, 2019).

Em função da sua adaptabilidade às mais diferentes condições de clima e solo, diversificação do uso da madeira, rápido crescimento, conciliada com as práticas silviculturais, ambientais e socioeconômicas, o eucalipto tornou-se uma alternativa para a preservação das

florestas nativas, suprimindo a demanda por matéria prima nas indústrias madeireiras (BERTOLA, 2013).

O gênero *Eucalyptus* tem grande importância comercial na economia brasileira, baixos custos e maior taxa de retorno financeiro, garantindo alta competitividade de seus produtos no mercado interno e externo (EMBRAPA, 2019). Segundo a Indústria Brasileira de Árvores, em 2022, a área total de árvores plantadas totalizou 9,94 milhões de hectares, crescimento de 0,3 % em relação ao ano de 2021. Entre as espécies cultivadas, cerca de 76 % da área (7,6 milhões de hectares) é composta pelo cultivo de eucalipto (IBÁ, 2023).

As maiores áreas plantadas com o gênero *Eucalyptus* encontram-se nos estados de Minas Gerais, São Paulo e Mato Grosso do Sul. O Rio Grande do Sul, encontra-se em 5º lugar, e detém cerca de 0,6 milhões de hectares plantados, gerando milhares de empregos, movimentando a economia local e dando a possibilidade de pequenos produtores diversificar a sua renda por meio de programas de fomento (IBÁ, 2023).

Os primeiros plantios de eucalipto no Rio Grande do Sul ocorreram em 1868, por Joaquim Francisco de Assis Brasil, entretanto o crescimento significativo de áreas plantadas no país se deu a partir da promulgação da Lei de Incentivos Fiscais ao Reflorestamento (Lei nº 5.106 de 1966) e ao Plano Nacional de Desenvolvimento (II PND), criado pelo Governo Federal na década de 1970 (EMBRAPA, 2014).

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS GENÉTICOS

4.2.1 *Eucalyptus saligna* Smith

O *Eucalyptus saligna* é nativo da Austrália, ocorre em altitudes próximas ao nível do mar até 1.100 m, sob climas temperado a subtropical (PALUDZYSZYN FILHO; SANTOS; FERRREIRA, 2006). Nas áreas de ocorrência natural a precipitação média anual fica entre 700 e 2.300 mm, as temperaturas médias anuais variam de 10 °C a 22 °C, nos períodos mais frios entre -1 °C a 17 °C e nos períodos mais quentes entre 23 °C e 34 °C (JOVANOVIC; BOOTH, 2002), o que o torna a espécie apta para uso no Sul do Brasil, com exceção de áreas com maior propensão de geada.

Esta espécie apresenta menor tolerância ao frio se comparada ao *Eucalyptus dunnii* Maiden e *Eucalyptus benthami* Maiden & Canbage (PALUDZYSZYN FILHO; SANTOS; FERRREIRA, 2006), mas seu uso é justificado por ser um material de elevada produtividade, adaptabilidade e fácil enraizamento, fazendo com que se busque novos materiais genéticos

oriundos de regiões frias da Austrália, possibilitando no futuro, a obtenção de materiais genéticos mais tolerantes ao frio, havendo a possibilidade de identificar novas procedências com características superiores (MARCÓ, 2005).

A madeira de *E. saligna* é moderadamente durável (densidade média de 490 kg/m³), podendo ser utilizada para construções, pisos e painéis (JOVANOVIĆ; BOOTH, 2002). Além disso, a celulose sulfato obtida através de sua madeira é de alta qualidade, principalmente quando os povoamentos atingem cinco anos de idade, período em que as fibras apresentam maior resistência à tração, arrebentamento, ao dobramento e maior peso específico aparente, antes e depois dos processos químicos de branqueamento (FOELKEL; BARRICHELO; MILANEZ, 1975).

4.2.2 *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake x *Eucalyptus globulus* Labill.

O híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* apresenta em sua constituição características dos materiais de duas espécies de expressiva relevância para uso no Brasil. O *Eucalyptus globulus* é encontrado naturalmente na zona litorânea do Sudeste e Sul da Tasmânia, no Estado de Victória e Austrália, ocorrendo em altitudes de 400 metros acima do nível do mar e latitude de 38° a 43° Sul. O clima dos locais de ocorrência é temperado frio, de úmido a subúmido. As temperaturas médias anuais máximas estão em torno de 21 °C, e as mínimas por volta de 4 °C. A precipitação média anual varia entre 500 e 1.500 milímetros (POYNTON, 1979).

Devido ao rápido crescimento e fácil adaptação, esta espécie se difundiu rapidamente em Portugal, Espanha, Brasil, entre outros países (POTTS et al., 2004). Sua madeira apresenta características de interesse para o setor de celulose e papel, como fibras celulósicas mais pesadas (menor teor de fibras), paredes celulares mais espessas, maior teor de hemicelulose e menor teor de lignina, o que impacta diretamente no consumo de álcali, no rendimento em celulose e na geração de sólidos secos ao sistema de recuperação do licor (FOELKEL, 2009). No entanto, apresenta problemas relacionados à recalcitrância ao enraizamento, gerando um sistema radicular de baixa qualidade (BENNET et al., 1994; BALTIERRA et al., 2004), além da dificuldade de adaptação ao ambiente tropical, dificultando o estabelecimento de florestas clonais comerciais (ASSIS; MAFIA, 2007). Por outro lado, tecnologias tem utilizado técnicas de hibridação e estudado as exigências ambientais capazes de otimizar a rizogênese dessa espécie.

O *Eucalyptus urophylla* é encontrado nas ilhas da Indonésia, ocorrendo em altitudes de 350 a 2.960 m acima do nível do mar e latitude de 7° a 10° Sul (SCANAVACA; GARCIA, 2003). Nesta região, a precipitação anual varia de 600 a 2.500 mm, com clima subtropical seco a tropical úmido, a temperatura média máxima varia de 17 °C a 29 °C (MARTIN; COSSALTER, 1975). Por apresentar alta tolerância, resistência a doenças e elevada plasticidade (adaptação a diferentes regiões climáticas) (FOELKEL, 2009), esta espécie é muito utilizada para hibridação, visando melhorar a adaptação das espécies às condições ambientais e facilitar a propagação vegetativa de espécies recalcitrantes ao enraizamento (ASSIS; MAFIA, 2007). Segundo Alfenas et al. (2009), a hibridação de *Eucalyptus urophylla* com *Eucalyptus globulus*, pode facilitar a propagação vegetativa, além de gerar madeira de boa qualidade.

4.3 MINIESTAQUIA

A miniestaquia é a técnica de propagação vegetativa mais utilizada para produção comercial de mudas do gênero *Eucalyptus* pelas empresas, devido ao aumento da produção de mudas de qualidade geneticamente superior, com elevado percentual de enraizamento das miniestacas (HIGASHI et al., 2000; KONZEN et al., 2018; GRIEBELER et al., 2023). O uso de estacas apicais juvenis, controle das condições hídricas, nutricionais e fitossanitárias das plantas fornecedoras de propágulos (TITON et al., 2003; ASSIS et al., 2004) proporcionam a produção de mudas clonais para os plantios comerciais.

Na miniestaquia, os propágulos vegetativos utilizados medem entre 4 e 8 cm de comprimento, com dois pares de folhas reduzidas à metade (XAVIER et al., 2009). A manutenção das folhas ou parte delas, tem o objetivo de diminuir a área de transpiração, sem que a produção de carboidratos e auxinas sejam comprometidas, pois estas substâncias são essenciais ao enraizamento (HARTMANN et al., 2014).

Associado ao enraizamento de miniestacas, a produtividade de miniestacas é outro fator importante na propagação massal dos programas de clonagem, quando se deseja operacionalizar o cultivo de mudas em grandes áreas. Para favorecer as condições de crescimento e produção das minicepas, é importante buscar práticas que aumentem a capacidade produtiva no viveiro. Dentre as técnicas, o uso de miniestufas vem se mostrando promissor para ganhos na produção e no enraizamento de miniestacas, principalmente em

regiões subtropicais, a exemplo do Sul do Brasil, onde ocorrem baixas temperaturas e fotoperíodo restritivo no final do outono e inverno (ASSIS, 2014; OLIVEIRA, 2016).

4.4 MINIESTUFA

A sazonalidade ambiental desempenha um papel fundamental nos processos fisiológicos de formação de raízes na propagação vegetativa para comercial (HARTMANN et al., 2002), influenciando e limitando os processos de enraizamento em condições limitantes (TRUEMAN et al., 2013a), tornando-se uma das variáveis mais importante na fisiologia do enraizamento em ambientes subtropicais, como o sul do Brasil, África do Sul e sul da Austrália (ASSIS, 2001). Além da sazonalidade, a recalcitrância que alguns materiais genéticos apresentam prejudica o enraizamento das miniestacas, dificultando a produção em escala massal (ASSIS, 2014).

Uma alternativa encontrada para contornar estas situações, foi o uso de miniestufas, construídas sob estrutura metálica em formato de túnel, coberto com plástico transparente, oferecendo controle parcial dos efeitos adversos do clima, mantendo o ambiente quente e úmido (ASSIS, 2011). Diante do manejo da irrigação, as miniestufas podem reduzir as perdas de nutrientes por lixiviação, aumentando a produtividade de propágulos e do enraizamento, reduzindo a formação de calos e o tempo entre as coletas (ASSIS, 2014).

Além disso, é possível observar alterações na morfologia foliar das miniestacas mantidas sob a cobertura das miniestufas, considerando que as folhas se tornam menores, com coloração mais clara (ASSIS, 2014). Com menor are folhear é possível utilizar miniestacas com folhas inteiras, reduzindo o tempo e os custos de preparação do material a ser estaqueado (ASSIS, 2014). As folhas, menores podem também ser caracterizadas por estarem mais tenras e com aspecto de folha mais jovem, talvez preservar a síntese de auxina e, consequentemente, potencializar o enraizamento.

4.5 SUPLEMENTAÇÃO LUMINOSA

A luz é um componente essencial que afeta a produção de miniestacas em sistemas de casa de vegetação (HARTMANN et al., 2011). A disponibilidade adequada de luz garante as plantas rápido crescimento e desenvolvimento morfológico superior (COCETTA et al., 2017). O fotoperíodo, irradiância e qualidade espectral influenciam o metabolismo da planta matriz (minicepa) e, subseqüentemente, a produtividade e o enraizamento das miniestacas. A diminuição do fotoperíodo reduz as taxas fotossintéticas, limitando o crescimento das

minicepas (brotações) e, conseqüentemente, a produção de miniestacas (HARTMANN et al., 2011).

A produção de miniestacas em minijardim clonal e seu posterior enraizamento variam conforme a sazonalidade no sul do Brasil, principalmente nas estações do outono e inverno (PIRES et al., 2017). Nesse período ocorre diminuição da temperatura e do fotoperíodo, condições críticas para produção de novos propágulos (KONZEN et al., 2018) e disponibilidade de mudas aptas para o plantio a campo.

A entrada de radiação solar em minijardim clonal pode ser melhorada com o uso de estruturas e materiais de cobertura (miniestufa) (COCETTA et al., 2017), juntamente com o uso de iluminação artificial (diodos emissores de luz - LEDs), complementando a radiação luminosa em períodos de restrição e otimizando o desempenho das minicepas (AGUIAR et al., 2018).

Os LEDs são uma fonte de luz alternativa para crescimento e desenvolvimento de plantas (BULA et al., 1991; YEH; CHUNG, 2009), pois emitem faixas de luz em regiões espectrais específicas, podendo ser usados para regular os níveis de radiação fotossinteticamente ativa e fotomorfogênica necessários para o crescimento e desenvolvimento das plantas (GUPTA; JATOTHU, 2013; KENDRICK; KRONENBERG, 2012). Outras vantagens do uso de lâmpadas LEDs são a especificidade de comprimento de onda, alta durabilidade, tamanhos diversos, não emitem calor e possuem faixas espectrais específicas, havendo a possibilidade de controlar e combinar a composição espectral (AGARWAL; GUPTA, 2016; BELLO-BELLO et al., 2017; SHUKLA et al., 2017).

A flexibilidade de combinar os comprimentos de onda dos LEDs com os fotorreceptores das plantas pode fornecer uma produção mais otimizada, influenciando a morfologia e o metabolismo das plantas (Kim et al. 2004a), tornando possível intensificar o crescimento e o desenvolvimento de células vegetais, tecidos e órgãos reprodutivos, desencadeando reações fisiológicas (BRIGGS; OLNEY, 2001; KURILCILK et al., 2008), como o aumento da fotossíntese, síntese de compostos (celulose) (BATISTA et al., 2018), emissão de novos brotos (HEO et al., 2006) e indução da floração (DEWIR et al., 2006).

Na perspectiva de potencializar a produção, plantas cultivadas a partir de luz LED branca apresentaram maior área foliar e peso seco total, além do desenvolvimento normal dos cloroplastos nas células do mesofilo, quando comparado com luz azul, verde e vermelho (LI et al., 2017). Wang et al. (2009), observaram que os teores de clorofila nas folhas de plantas expostas à luz LED branca foram significativamente maiores quando comparados à luz amarela, verde ou vermelha.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 MINIJARDIM CLONAL (MJC)

O estudo foi conduzido no Laboratório de Silvicultura e Viveiro Florestal (29°43'12.87"S, 53°43'14.14"O), localizado na Universidade Federal de Santa Maria, município de Santa Maria – RS. Segundo a classificação de Köppen o clima é subtropical úmido (Cfa.), com temperatura média anual entre 18 e 20 °C (ALVARES et al., 2013).

O minijardim clonal localiza-se em casa de vegetação com teto fixo e laterais retrateis, onde foi construído sobre kalhetões® de fibrocimento preenchidos com uma camada de brita (5 cm) e o restante com areia (Anexo A). O plantio das mudas foi realizado em janeiro de 2023.

Após 15 dias foi realizada a condução das minicepas no formato taça baixa (Anexo B), sendo adequada para coleta 70 dias após o plantio. Realizou-se a poda, a cerca de 10 cm da base do colo, enquanto as mudas que não continham os primeiros pares de folhas foram inicialmente dobradas na mesma altura, mantendo-se a parte aérea presa em um dos lados até a emissão das brotações e, então, retirada para condução da minicepa. A fertirrigação do minijardim clonal foi realizada por meio gotejamento, sendo aplicada 5 L m² dia de solução nutritiva, quatro vezes ao dia (Tabela 1).

Tabela 1 - Composição da solução nutritiva aplicada no minijardim clonal, inverno 2023, sul do Brasil.

Fertilizantes	Fonte de Nutriente	Quantidade aplicada (mg/L)	Dosagem (mg/L)
Calcinit®	Ca (20 %)	1244	248,8
	N (15 %)		186,6
MagnesioUltra®	Mg (9 %)	617	55,53
	S (11 %)		67,87
	K ₂ O (1 %)		6,17
Rexolin Q48®	Fe (6 %)	40	2,4
Sulfato de Cobre®	Cu (25 %)	0,1	0,025
	S (12,6 %)		0,0126
Qualisais zinco 20®	Zn (20 %)	0,64	0,128
	S (10,5 %)		0,067
Sulfato de manganês®	Mn (31 %)	2,6	0,806
	S (18 %)		0,468
Krista K®	K ₂ O (43 %)	463	199,09
	N (13 %)		60,19
	S (1 %)		4,63

	Mg (1 %)		4,63
Krista MAP®	P ₂ O ₅ (61 %)	62	37,82
	N (12 %)		7,44
Bortrac®	B (10,9 %)	0,007 (ml/L)	0,00076 (ml/L)
	N (4 %)		0,00028 (ml/L)

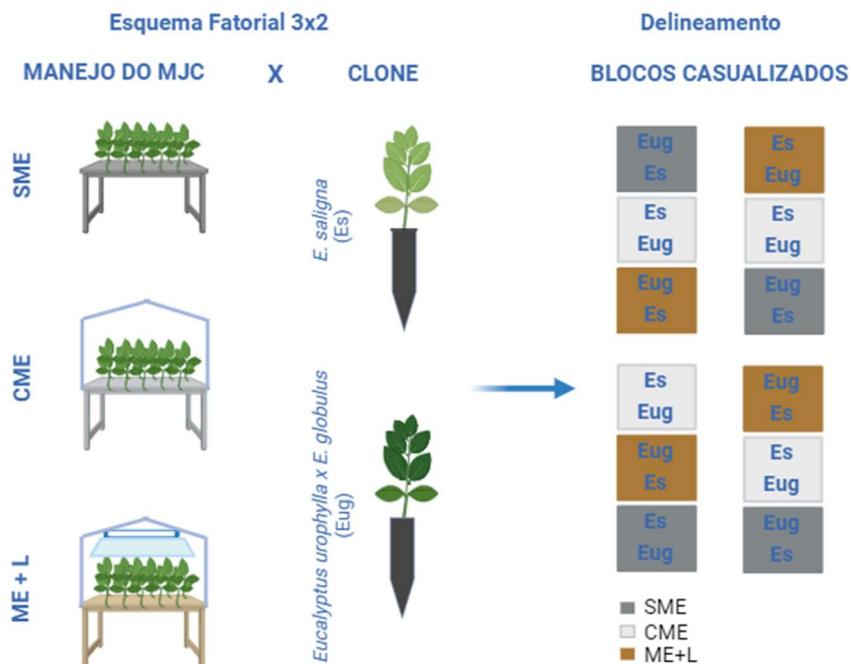
Fonte: Laboratório de Silvicultura e Viveiro Florestal da UFSM (2024). Sendo: Ca: Cálcio; N: Nitrogênio; Mg: Magnésio; S: Enxofre; K: Potássio; Fe: Ferro; Cu: Cobre; Zn: Zinco; Mn: Manganês; P: Fósforo; B: Boro.

5.2 DESENHO EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido em esquema fatorial duplo com parcelas subdivididas, considerando três manejos do minijardim clonal (sem miniestufa-SME; com miniestufa-CME; e miniestufa com suplementação luminosa artificial-ME+L) (Anexo C) e dois clones (*Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus*). O delineamento foi de blocos ao acaso, com quatro repetições, os quais receberam os três manejos distribuídos aleatoriamente, sendo esses compostos pelas subparcelas contendo 24 minicepas de cada clone, totalizando 96 minicepas/clone/tratamento (Figura 1). As miniestufas apresentavam 70 cm de altura, servindo também de suporte às luminárias vedadas, adaptadas de prévio uso com fluorescente para LED. As lâmpadas tubulares foram dispostas em duas linhas paralelas, centralizadas, visando a iluminação uniforme do canteiro. A lâmpadas LED eram de luz branca de 1.850 lm (eficiência luminosa – 103 lm/w), as quais foram mantidas acesas durante 24 horas. A decisão de manutenção da iluminação por 24 h foi baseada em estudo piloto com *E. dunnii*, onde foi observado que esse período permitiu a maior potencial de produtividade de miniestacas, sem prejuízo fisiológico à cepa (OLIVEIRA et al., 2021).

As mudas dos clones utilizados para formação do minijardim foram cedidas pela empresa CMPC – Celulose Riograndense.

Figura 1 – Esquema gráfico do delineamento experimental e dos manejos do MJC utilizados durante o estudo, inverno 2023, no sul do Brasil.



Fonte: Autora e Araujo (2024).

Durante o estudo, iniciado em junho de 2023, as miniestufas permaneceram fechadas, sendo abertas somente no momento das coletas. As miniestufas que possuíam a suplementação luminosa foram cobertas com plástico preto no final da tarde, evitando que a iluminação interferisse nos demais tratamentos (Anexo D). Na primeira hora da manhã, o plástico preto foi diariamente retirado.

Os tratamentos foram comparados com base nas respostas de produtividade mensal de miniestacas e aos atributos fisiológicos das minicepas, associados à fluorescência da clorofila *a* e ao potencial hídrico. Sequencialmente, as mudas enraizadas foram avaliadas quanto a sua performance conforme cada tratamento.

5.3 VARIÁVEIS AMBIENTAIS

A temperatura (°C), umidade relativa do ar (UR %) e a concentração de gás carbônico (CO₂) foram monitoradas utilizando termohigrômetros (Datalogger - AK174) e medidor multiparâmetros (X05 Sensor Flex - Monóxido de carbono (CO) – CRIFFER), onde a cada 5 minutos eram feitos registros da temperatura, umidade relativa do ar e concentração de gás carbônico.

Realizou-se a medição da intensidade luminosa em quatro ocasiões diárias, 09:00h, 12:00h e 16:00h, durante o dia e no período noturno (20:00h), com dois luxímetros digitais (Minipa®) para caracterizar a intensidade de luz fora da casa de vegetação e a incidente sobre as minicepas, nos três manejos do MJC. Para caracterização das variáveis ambientais foram utilizados os valores médios no decorrer de cada mês (junho, julho, agosto e setembro).

5.4 PRODUÇÃO DE MINIESTACAS

O início do estudo ocorreu com a colocação das miniestufas sem e com suplementação luminosa, cuja primeira coleta ocorreu após sete dias, sendo mantida com frequência semanal. As miniestufas foram confeccionadas com, aproximadamente 6 a 8 cm de comprimento, deixando-se dois pares de folhas reduzidas pela metade (Anexo E), sendo acondicionadas em caixas térmicas, borrifando-se água para manter a turgidez até o momento do plantio. As estufas coletadas foram quantificadas e utilizadas para caracterizar a produtividade mensal das minicepas.

5.5 ATRIBUTOS FISIOLÓGICOS DAS MINICEPAS

5.5.1 Potencial hídrico (Ψ_w)

As avaliações do potencial hídrico (Ψ_w) foram realizadas mensalmente, na madrugada, às 05:00h e as 11:00h com o auxílio de câmara de pressão, modelo *600 Pressure Chamber Instrument* (SCHOLANDER et al., 1965). Para a mensuração, foram utilizados dois brotos por tratamento e repetição, localizados no terço superior das minicepas. Para isso, a brotação seccionada foi inserida na câmara, em seguida aplicou-se pressão liberando nitrogênio gasoso, até serem evidenciadas as primeiras gotículas de exsudação, momento em que foi realizada a leitura da pressão aplicada, e indiretamente do potencial hídrico da planta.

5.5.2 Fluorescência da clorofila *a*

A emissão de fluorescência da clorofila *a* foi analisada com fluorômetro portátil de luz modulada (*Junior-Pam Chlorophyll Fluorometer Walz Mess-und-Regeltechnik, Germany*). As medições ocorreram durante o período da manhã (8:00h - 11:00h) em dias ensolarados, sem a presença de nuvens, utilizando folhas totalmente expandidas, de quatro minicepas por tratamento. Previamente, as folhas foram aclimatadas no escuro por 30 minutos com o auxílio

de papel alumínio, após foram submetidas à medição da fluorescência inicial (F_o) seguida um pulso de luz saturante ($10.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) por 0,6 s, obtendo-se a fluorescência máxima (F_m). A partir disso, o rendimento quântico máximo do PSII (F_v/F_m) foi calculado por meio da razão entre a fluorescência variável ($F_v = F_m - F_o$) e a fluorescência máxima (Anexo F).

5.5.3 Análise nutricional das minicepas

Após a ocorrência de indicativos de manchas foliares, demandou a análise nutricional das minicepas, sendo para isso coletado 200 g de brotos obtidos nas quatro repetições, o que permitiu a formação de uma amostra composta dos três manejos do minijardim clonal, para ambos os clones. As amostras foram secas em estufa com circulação forçada de ar ($65 \text{ }^\circ\text{C}$), sem a lavagem do material. Após a moagem das amostras, as concentrações de nutrientes foram determinadas conforme metodologia para análise de resíduo orgânico descrito por Tedesco et al. (1995).

As análises foram realizadas na central de análises da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI), sendo determinado o percentual de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e nitrogênio (N) utilizando-se digestão por peróxido de hidrogênio e ácido sulfúrico. Para avaliação de zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn), ferro (Fe), enxofre (S) e sódio (Na) foram determinados por meio da digestão por ácido nítrico e ácido perclórico. Para a determinação de boro (B) e carbono (C), utilizou-se a queima com forno mufla ($550 - 650 \text{ }^\circ\text{C}$) e *walkey-black* (com calor extremo), respectivamente (TEDESCO et al., 1995).

5.6 ENRAIZAMENTO

No início de agosto de 2023, com objetivo de caracterizar a estação de inverno, foi realizada a coleta e plantio das miniestacas em tubetes de polipropileno de 50 cm^3 , preenchidos com substrato Carolina Soil[®] e adubação com Osmocote[®] (3 g/L). Após, as bandejas foram alocadas em casa de enraizamento, localizada no Laboratório de Silvicultura e Viveiro Florestal da UFSM. O delineamento experimental foi blocos ao acaso com quatro repetições por manejo de minijardim clonal, utilizando-se 70 miniestacas por repetição.

A irrigação na casa de enraizamento foi realizada entre 8:00h e 20:00h, via nebulização (150 mL/min/m^2), variando de acordo com os dias. Em dias que a temperatura se mantinha abaixo de $35 \text{ }^\circ\text{C}$ no interior da casa de enraizamento, a irrigação era realizada a cada 30

minutos, durante 30 segundos. Nos dias que a temperatura ultrapassava 35 °C a frequência de irrigação foi aumentada para cada 10 minutos.

A avaliação do enraizamento foi realizada aos 45 dias após o estaqueamento. Foram consideradas enraizadas as miniestacas com sistema radicular visível na inferior do tubete ou resistência à retirada do recipiente. Essa variável foi expressa em porcentagem (E%), considerando o número de miniestacas estaqueadas e número de miniestacas enraizadas.

5.7 ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS DAS MUDAS

As avaliações dos atributos morfológicos das mudas foram realizadas aos 120 dias após o estaqueamento, onde foi medida a altura total, com auxílio de régua graduada, e mesurado o diâmetro do colo, com paquímetro digital (Anexo G) de uma muda por repetição (quatro mudas por tratamento).

Após realizadas as medições de altura e diâmetro do colo, a parte aérea e radicular das mudas foram seccionadas na região do colo, visando a determinação da massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca radicular (MSR) e massa seca total (MST). A parte radicular foi lavada em água corrente com auxílio de peneira de malha de 2,0 mm para remoção do substrato. Ambas as porções foram individualizadas em sacos de papel e colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, até atingir peso constante. As amostras foram pesadas em balança analítica de precisão, obtendo-se MSPA e MSR, assim pela soma, foi determinada a MST.

5.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram analisados quanto às pressuposições de normalidade e homogeneidade de variância, pelos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Posteriormente, quando as pressuposições foram aceitas os dados foram submetidos análise de variância (Anova), seguida por comparação de médias, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade de erro, por meio do pacote “ExpDes.pt” (FERREIRA et al., 2018) do software R (R CORE TEAM, 2020).

6. RESULTADOS

6.1 VARIÁVEIS AMBIENTAIS

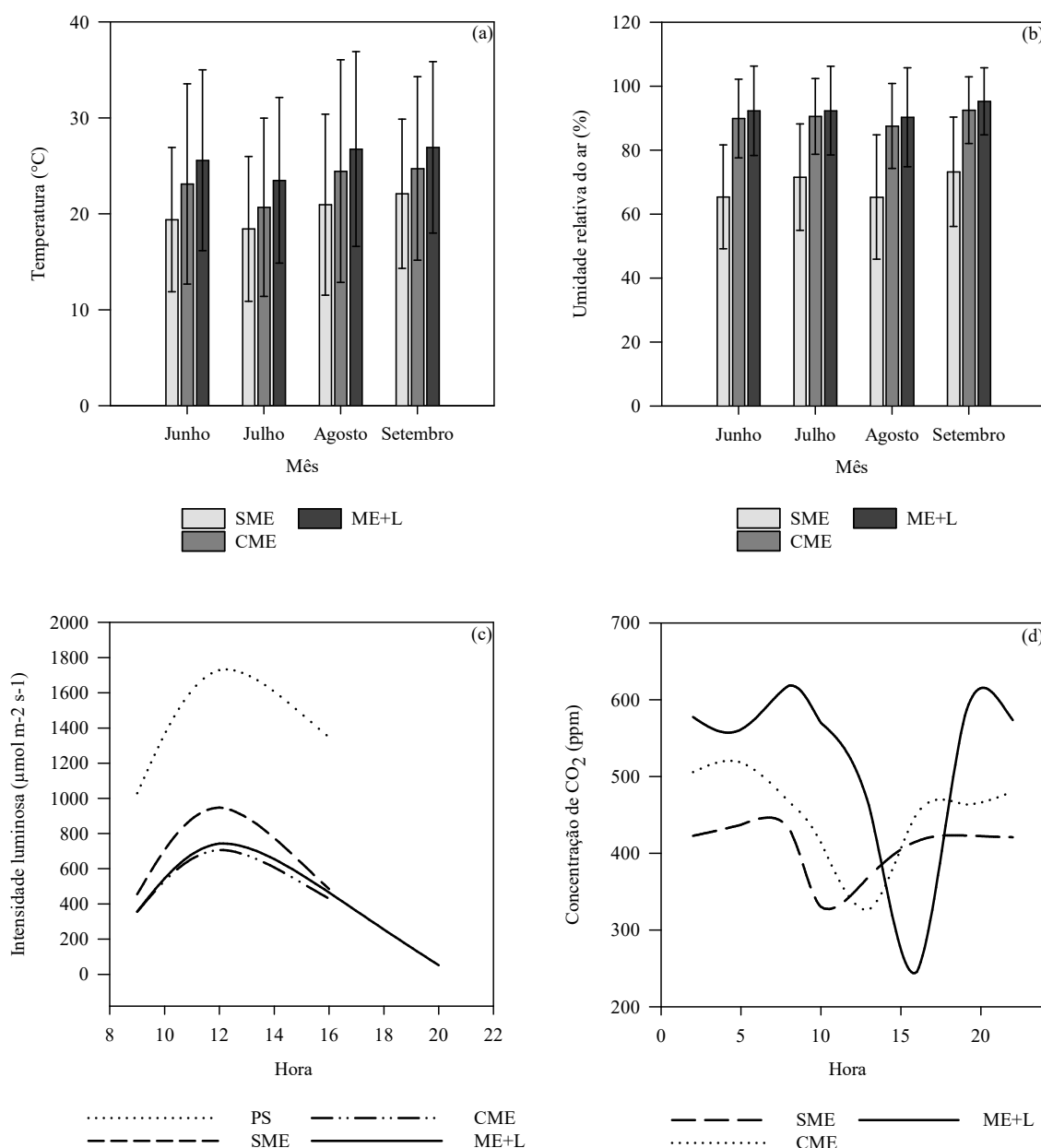
Observou-se aumento das temperaturas médias nos ambientes CME e ME+L em relação a SME, no decorrer de cada mês (Figura 2 a). O ambiente ME+L obteve as maiores amplitudes térmicas, sendo este manejo recomendado em regiões onde ocorrem baixas temperaturas e, conseqüentemente, diminuição na produtividade do minijardim clonal. De modo semelhante, o uso da miniestufa (CME e ME+L) proporciona umidade relativa do ar mais elevada ($\geq 90\%$) em relação ao minijardim que geralmente é mantido dentro de casa de vegetação sem as miniestufas (Figura 2 b).

Por outro lado, a cobertura extra das miniestufas reduz a incidência de luz sobre as cepas. Conforme esperado, a intensidade luminosa a pleno sol aumentou nos horários iniciais da manhã (9h - $1029,17 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) até as 12h ($1730,56 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), decrescendo até as 16h ($1348,61 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Essa tendência seguiu o mesmo padrão no interior da casa de vegetação, o que proporcionou redução de cerca de 55% da luz incidente diante a cobertura da casa de vegetação, e de 65% quando utilizado a miniestufa (Figura 2 c).

No horário das 12h a redução apresentou comportamento semelhante com perdas expressivas da radiação incidente, o que justifica o uso de tetos retrateis capazes de reduzir a restrição de luz durante o inverno. Em contrapartida, à noite, a luminosidade foi mantida somente em ME+L, ocasião em que se obteve $52,16 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. A radiação fotossinteticamente ativa, apesar de parecer baixa, suplementou inclusive os horários diurnos a partir do início da manhã.

A concentração de CO_2 observada nos manejos do MJC (SME, CME e ME+L) foi variável no decorrer do dia e noite. Observou-se que durante a noite, ME+L acumula mais CO_2 (Figura 2 d), porém também consome mais entre 10 e 16 horas, indicativo de que o uso de iluminação LED branca, modifica expressivamente a condição em que as minicepas são mantidas.

Figura 2 – Temperatura (a), umidade relativa do ar (b), intensidade luminosa (c) e concentração de CO_2 (d) no minijardim clonal durante a estação do inverno 2023, no sul do Brasil.



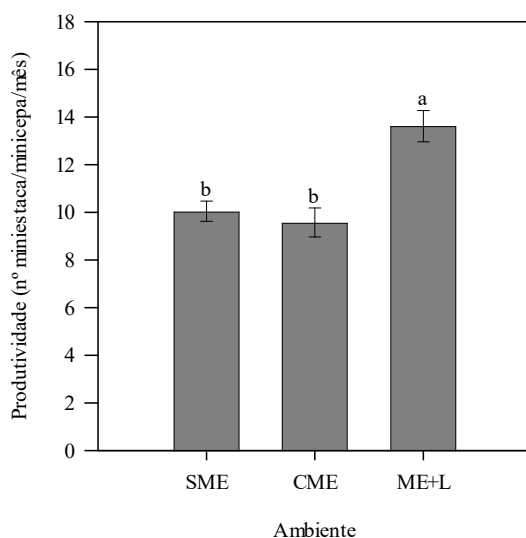
Onde: SME: sem miniestufa; CME: com miniestufa; ME+L: miniestufa + luz; PS: pleno sol.
 Fonte: Autora (2024).

6.2 PRODUTIVIDADE

Para produtividade das minicepas não houve interação significativa entre MJC x Clone ($p > 0,01$), somente para o fator isolado MJC. Indiferente ao clone, observou-se expressivo ganho em produtividade quando utilizada suplementação luminosa associada a miniestufa ($p < 0,01$). Na figura 3, é possível verificar um incremento de 23 % das miniestacas produzidas

no ME+L em relação a SME e CME, o que representa uma produtividade de 13 miniestacas/minicepa/mês. Os ambientes SME e CME não diferiram estatisticamente entre si, apresentando em média 10 miniestacas/minicepa/mês.

Figura 3 – Produtividade de miniestacas em diferentes manejos de MJC, durante a estação do inverno 2023, no sul do Brasil.



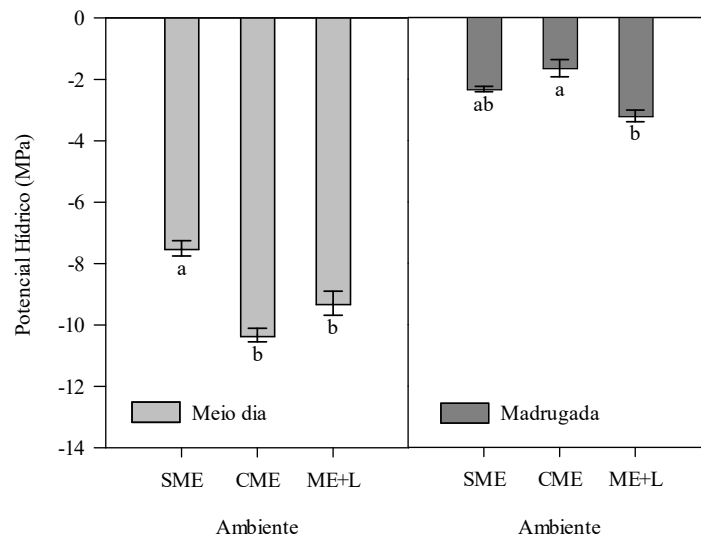
Onde: SME: sem miniestufa; CME: com miniestufa; ME+L: miniestufa + luz. *Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Autora (2024).

6.3 ATRIBUTOS FISIOLÓGICOS DAS MINICEPAS

Não observou-se interação significativa entre MJC x Clone para o potencial hídrico do meio dia e da madrugada, apenas para o fator isolado MJC (Figura 4), em que SME às 12:00h (Figura 4 a) apresentou maior quantidade de água nos tecidos ($p < 0,01$) quando comparado aos demais ambientes. No entanto, o minijardim clonal CME apresentou maior reidratação dos tecidos durante a madrugada (Figura 4 b), enquanto ME+L foi menor, considerando a contínua interceptação de luz e as consequentes trocas gasosas durante o processo fotossintético.

Figura 4 - Potencial hídrico no período do meio-dia e madrugada sob diferentes manejos de MJC, inverno 2023, no sul do Brasil.

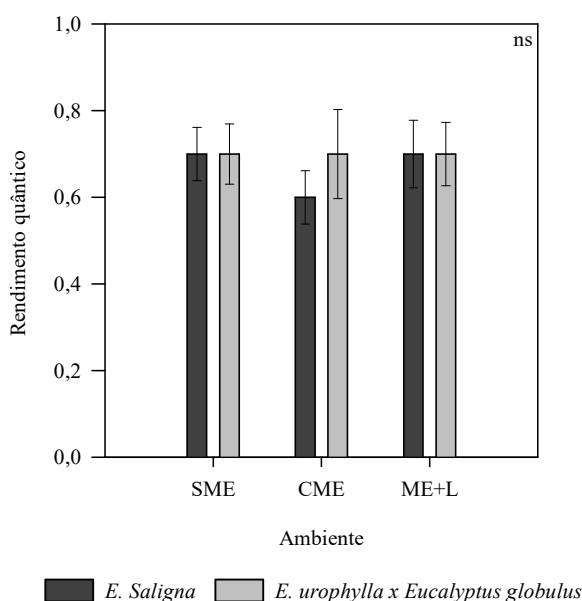


Onde: SME: sem miniestufa; CME: com miniestufa; ME+L: miniestufa + luz. *Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Autora (2024).

A partir da análise da fluorescência da clorofila *a*, observou-se que o rendimento quântico não apresentou interação significativa entre MJC x Clone e nem efeito isolado entre os fatores ($p > 0,05$), mas manteve-se com valores considerados adequados ($F_v/F_m = 0,7$) (Figura 5). A partir disso, evidencia-se que a fluorescência inicial (F_0), fluorescência máxima (F_m) e, conseqüentemente, o rendimento quântico do fotossistema II (F_v/F_m) indicam que os manejos nos minijardins clonais promoveram a transferência de energia necessária para produção de fotoassimilados.

Figura 5 - Rendimento quântico do fotossistema II (F_v/F_m) sob diferentes manejos de MJC, inverno 2023, no sul do Brasil.



Onde: SME: sem miniestufa; CME: com miniestufa e ME+L: miniestufa + suplementação luminosa. *ns: não significativo.

Fonte: Autora (2024).

6.4 ESTADO NUTRICIONAL DAS MINICEPAS

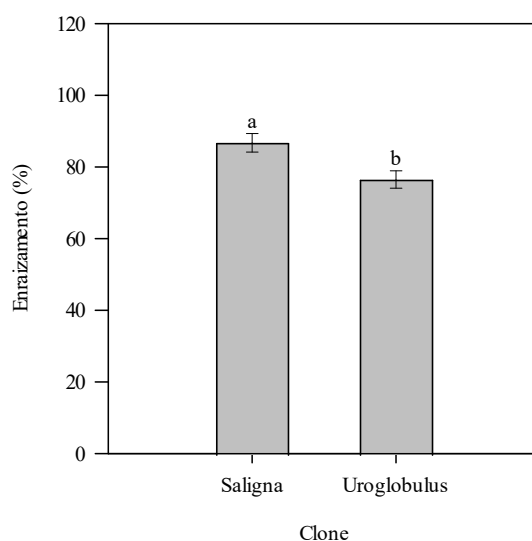
A análise de tecidos (Anexo H) indicou diferenças nos teores de nutrientes em relação aos manejos do MJC e aos clones, confirmando os sintomas visuais de deficiência observados para ambos os clones (Anexo I), a partir de 55 dias após a instalação do experimento.

A deficiência nutricional observada foi de nitrogênio (N), o qual causou amarelecimento das folhas, em ambos os manejos utilizando a miniestufa (CME e ME+L), fato primeiramente evidenciado para o clone *E. urophylla x E. globulus*, quando conduzido em ME+L. Com relação aos demais nutrientes, observa-se concentração de Fe elevada, principalmente em minicepas de *E. saligna* sob miniestufas. Paralelamente, B apresentou menor concentração em *E. saligna*, cultivado no ambiente SME. Assim, como Fe e Mn apresentaram elevada concentração, porém para ambos os clones e sistemas de manejo.

6.5 ENRAIZAMENTO

No enraizamento não foi evidenciada interação entre os fatores MJC x Clone, apenas efeito isolado para o fator Clone ($p < 0,01$), em que o clone *E. saligna* apresentou 86% de enraizamento, sendo 11,8 % superior ao híbrido de *E. urophylla x Eucalyptus globulus* (Figura 6).

Figura 6 – Enraizamento de miniestacas de *E. saligna* e *E. urophylla* x *Eucalyptus globulus*, inverno 2023, no sul do Brasil.



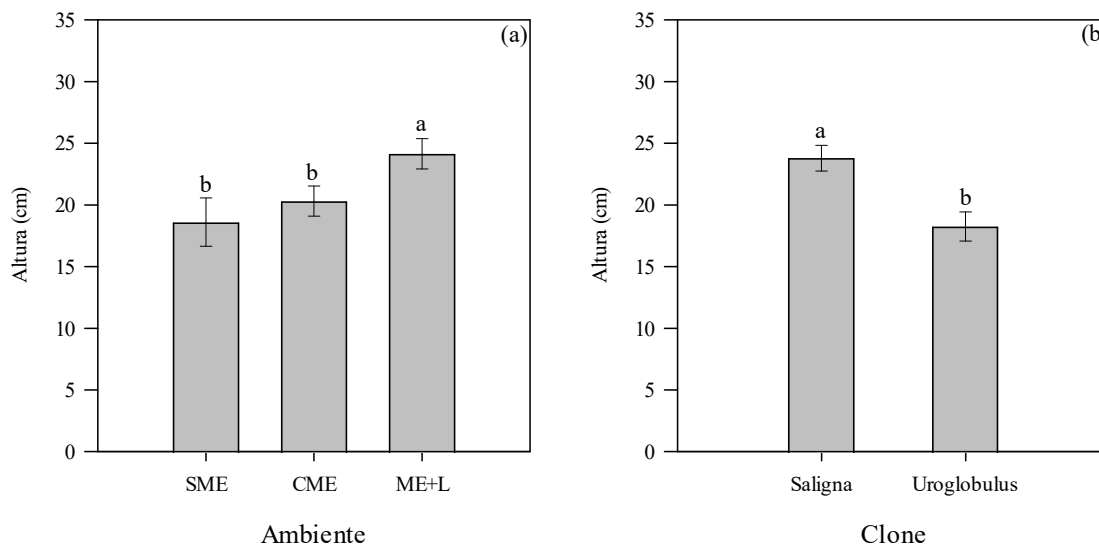
Onde: Saligna: *E. saligna*; Uroglobulus: *E. urophylla* x *Eucalyptus globulus*. *Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Autora (2024).

6.6 ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS DAS MUDAS

Para a variável altura, após 120 dias do plantio das miniestacas, não foi observada interação ($p > 0,05$) entre MJC x Clone, somente para os fatores isolados (Figura 7). O manejo do MJC apresentou maior incremento em altura quando as estacas foram coletadas na condição ME+L ($p < 0,01$), quando comparado a SME e CME (Figura 7 a). Para o clone, o maior incremento em altura ($p < 0,01$) foi observado para *E. saligna* (30% superior ao híbrido *E. urophylla* x *E. globulus*) (Figura 7 b), resultando em mudas com porte adequado para expedição com quatro meses.

Figura 7 - Incremento em altura nos diferentes ambientes do MJC (a) e para os clones *E. saligna* e *E. urophylla* x *E. globulus* (b), inverno 2023, no sul do Brasil.

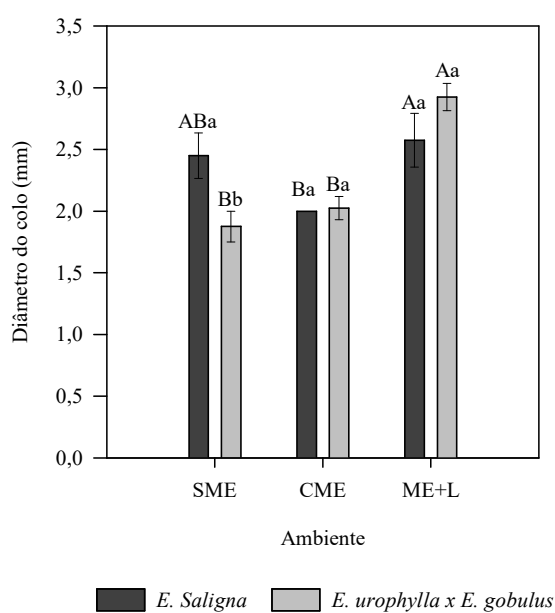


Onde: SME: sem miniestufa; CME: com miniestufa; ME+L: miniestufa + luz. *Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Autora (2024).

Para o diâmetro do colo observou-se interação entre MJC x Clone ($p < 0,05$), pois os clones foram influenciados de forma específica pelo manejo do minijardim clonal. *E. saligna* e *E. urophylla* x *E. globulus*, apresentaram maior diâmetro no ambiente ME+L, entretanto somente *E. saligna* demonstrou efetivo significativo no crescimento também SME (Figura 8).

Figura 8 - Diâmetro do colo dos clones *E. saligna* e *E. urophylla* x *E. globulus*, cultivados sob diferentes manejos de MJC, inverno 2023, no sul do Brasil.

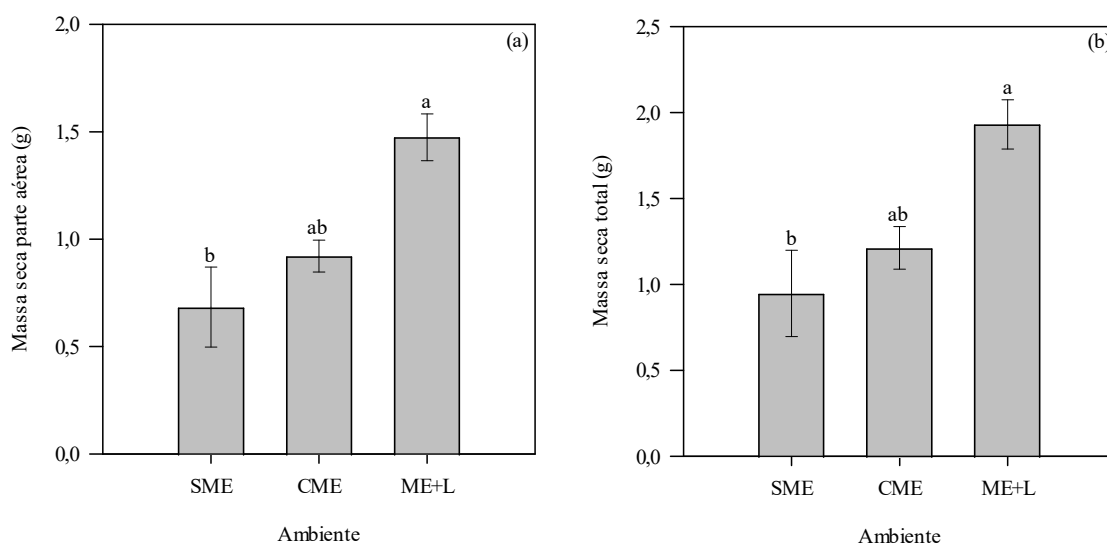


Onde: SME: sem miniestufa; CME: com miniestufa; ME+L: miniestufa + luz. *Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúscula indicam comparação entre o manejo do minijardim clonal e letra minúscula compara espécies dentro de cada ambiente.

Fonte: Autora (2024).

O manejo do MJC influenciou de modo isolado a MSPA e MST ($p < 0,05$), enquanto a variável MSR não apresentou interação tampouco efeito para os fatores isolados ($p > 0,05$) (Figura 9). Nesse contexto, constatou-se que ambos os clones têm maior incremento em MSPA e MST quando produzidos a partir do manejo ME+L, resultando em maior acúmulo de biomassa. A ausência da miniestufa, por outro lado foi condição negativa na qualidade da muda, proporcionando menor acúmulo de biomassa.

Figura 9 - Massa seca da parte aérea (a) e massa seca total (b) de mudas provenientes de miniestacas produzidas sob diferentes manejos de MJC, inverno 2023, no sul do Brasil.



Onde: SME: sem miniestufa; CME: com miniestufa; ME+L: miniestufa + luz. *Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Autora (2024).

7. DISCUSSÃO

Nossos resultados indicam que o uso da miniestufa com a suplementação luminosa por LED branca proporcionou ganhos expressivos, independentemente do material genético estudado, principalmente na produtividade de miniestacas (Figura 3), em período menos adequado ao cultivo (inverno) em região subtropical do sul do Brasil. Conseqüentemente, isso pode representar uma estratégia relevante para reduzir custos com estrutura e condução de minijardins clonais em viveiros comerciais, além de incrementar a produção de mudas clonais.

Apesar da iluminação suplementar não ter influenciado o percentual de enraizamento, proporcionou mudas com qualidade superior, acelerando a expedição ao campo. Em parte, isso ocorre porque as miniestufas modificam o microclima, aumentando a temperatura e umidade relativa do ar (BATISTA et al., 2015; COSTELLA, 2021; GRIEBELER et al., 2023). Konzen et al. (2021), avaliando a produtividade de minijardim clonal recém-formado de *E. dunni* e *E. benthamii*, durante 8 meses (maio a dezembro), também obteve aumento da produtividade média, quando usaram lâmpadas de cultivo vermelho/vermelho distante. A partir disso, nosso estudo inovou ao identificar que a suplementação luminosa com o uso de LEDs brancas, não somente modificou o ambiente (Figura 2), mas aumentou em cerca de 23 % o número de miniestacas coletadas, durante o inverno.

Analisando a estrutura dos minijardins clonais sem e com miniestufas, que geralmente utilizam 100 cepas/m², constatamos outra resposta relevante quanto ao número de brotações produzidas por minicepa. Ao ampliarmos o espaço das plantas no MJC para 12 x 12 cm (70 minicepas/m²) tivemos aumento do número de miniestacas (9 miniestacas/minicepas¹), valor superior a \cong 5 miniestacas/m² (BATISTA et al., 2015) e 4 miniestacas/m² (COSTELLA, 2021). Isso, respectivamente, representa acréscimo de 44% a 56% miniestacas coletadas durante o inverno.

No caso em que reduzimos o número de minicepas por m² (30% menor), mas aumentamos a produtividade em MJC, tivemos um balanço positivo. A partir do nosso melhor resultado (ME+L), associado ao arranjo 12 x 12 cm, a produtividade foi expressivamente superior (910 brotos/m²/mês) em relação aos estudos mencionados anteriormente (500 e 400 brotos/m²/mês, respectivamente) (BATISTA et al., 2015; COSTELLA, 2021). Possivelmente isso ocorreu devido a maior disponibilidade de luz no entorno das minicepas ocasionada pela suplementação luminosa.

O inverno é caracterizado pela redução do fotoperíodo, intensidade luminosa e temperatura, fatores que restringem o desenvolvimento das plantas (NERY, 2005), embora a influência do menor fotoperíodo no inverno seja o fator preponderante no metabolismo das plantas, influenciando na capacidade de brotar e crescer (NILSSON, 2022). Assim, ao ampliarmos o espaçamento entre as minicepas e adicionar as LEDs brancas à miniestufa, aumentamos a intensidade de luz e fotoperíodo (24 horas). Hartmann et al. (2002) estabeleceram bases fundamentadas para a identificação dos fatores restritivos e mediação a partir de tecnologias apropriadas, em condição de viveiro, viabilizando a produção clonal de espécies mais ou menos responsivas, a partir do controle ambiental (LIMA et al. 2021; GRIEBELER et al. 2023).

Também ficou evidente que o minijardim com ME+L promoveu o aumento da temperatura e umidade relativa do ar (Figura 2 a, b). Isso ocorreu, mesmo diante ao fato que a cobertura única na casa de vegetação, durante o dia, permitiu maior entrada de luz no MJC SME (Figura 2 c), em relação aqueles com miniestufa (com duas coberturas de plástico). Assim, apesar da iluminação com LED apresentar valores reduzidos de radiação fotossinteticamente ativa (Figura 2 c), em relação a luz solar, proporcionou ganhos expressivos na produção de mudas clonais de *Eucalyptus* spp.

O aumento dos valores médios de temperatura (25 °C), umidade relativa do ar (90%) e da concentração de CO₂ diante o uso da miniestufa (Figura 2 a, b, d), também criteriosamente monitorado por Lima et al. (2021) e Griebeler et al. (2023), influenciam a produtividade positivamente, sendo valores indicadores da qualidade do ambiente em MJCs. Diante uso da suplementação luminosa, a assimilação de CO₂ foi intensificada, aproveitando o que foi acumulado durante a madrugada (Figura 2 d). Em todos os manejos testados observamos picos da concentração de CO₂ no final da madrugada (5:00h) e no início da noite (19:00h), quando ocorre a diminuição do metabolismo no SME e CME por falta de luz. Entretanto, constatamos, que no CME e ME+L, o pico, se desloca para a direita (Figura 2 d), expressando o maior tempo disponível para aproveitamento do CO₂, conseqüentemente, repercutindo na maior produtividade, bem como na qualidade das mudas, com ênfase ao ME+L.

Desse modo, o uso da miniestufa representa uma forma de enriquecimento “semi-natural” de CO₂ disponível ao aumento da produtividade. Essa resposta também foi evidenciada para Lima; Jarvis; Rhizopoulou (2003), ao estudar mudas de cinco espécies de *Eucalyptus*, constatando o efeito positivo do aumento de CO₂ na fotossíntese e eficiência do uso da água, diante adequada condição hídrica do substrato. A maior concentração de CO₂, temperatura e umidade relativa do ar, condicionados pela miniestufa, melhora o metabolismo das plantas e, maximiza a produtividade de brotos diante a suplementação de luz.

O minijardim clonal com ME+L, além da vantagem de aumentar o número de brotos (Figura 3) em relação a SME e CME, também proporcionou folhas menores e mais tenras, semelhante ao manejo CME, compensando a área folhar total (dados não apresentados). A alteração da forma e tamanho da folha é uma resposta das plantas às condições ambientais do meio (TAIZ et al., 2017). Nesse contexto, observamos que diante de concentrações atmosféricas naturais e disponibilidade de água, as folhas expandem de acordo com o potencial genético de cada espécie, conseqüentemente, aumentando o número de estômatos e trocas gasosas. Porém, quando esse ambiente é manejado para aumentar a umidade do ar, temperatura

e concentração de CO₂, as coletas sucessivas de miniestacas potencializam a produção de brotos, aumentando a área foliar total, porém com folhas menores, capazes de manter semelhante assimilação daquele não manipulado. Enquanto a suplementação luminosa interferiu como um estímulo significativo capaz de aproveitar e direcionar o recurso à multiplicação de miniestacas.

O enraizamento não foi diretamente favorecido pelo manejo sem ou com miniestufa, independente do uso de suplementação luminosa. Resultados semelhantes foram observados na análise do MJC sem e com estufim e sem a presença de iluminação (BATISTA et al., 2015; LIMA et al., 2021), além da suplementação luminosa com lâmpadas de cultivo (KONZEN et al., 2021). Assim, o manejo do MJC não aumentou o enraizamento, entretanto, manteve-se com percentuais superiores (acima de 70%) (Figura 6) ao encontrado em outros estudos (BATISTA et al., 2015; LIMA et al., 2021). A capacidade rizogênica é influenciada por diversos fatores, como o balanço hormonal, juvenildade do material, nutrição das plantas, condições ambientais de cultivo, além de características genéticas.

Em contrapartida, no decorrer do nosso estudo foi possível confirmar, indiretamente, respostas intrínsecas ao enraizamento, pois as mudas enraizadas após 120 dias da coleta e plantio das miniestacas, apresentaram maior incremento em altura, massa seca aérea e total na condição ME+L, para ambos os clones, seguido de CME e SME (Figuras 7 e 9). Para o atributo diâmetro do colo, respostas positivas ocorreram principalmente para o híbrido *E. urophylla* x *E. globulus* (Figura 8). A massa seca total é um importante atributo, capaz de representar a fotossíntese líquida (ARAUJO et al., 2018), sendo expressivamente superior em ME+L, seguido por CME, em resposta ao condicionamento das brotações/miniestacas, que mais rapidamente emitiram raízes, possibilitando o desenvolvimento precoce da muda, embora os manejos tenham apresentado comportamento semelhante para massa seca radicular.

Contudo, a performance das minicepas em SME e CME, durante o inverno, pode ser melhorada com a suplementação por LED branca aplicada de modo contínuo. O conteúdo espectral da iluminação baseada em LED apresenta ampla aplicação, conforme o espectro de ação combinado, condicionando positivamente a atividade fotossintética e maximizando a assimilação dos nutrientes (PATTISON et al., 2018). Apesar da reduzida intensidade luminosa incrementada em ME+L (Figura 1c), quando comparada as condições naturais (PS, Figura 2 c), os mesmos autores descreveram que o conteúdo espectral da LED se origina da emissão eficiente de luz azul (400-500 nm), porém os efeitos espectrais são refinados quando em sinergia com luz em outros comprimentos. Desse modo, além da suplementação luminosa durante o dia em sinergismo com outros comprimentos de ondas, a LED também proporcionou

atividade fotossintética noturna, aumentando a produtividade de miniestacas e melhorando a qualidade final das mudas.

Independente ao manejo, não houve perdas expressivas de energia por fluorescência da clorofila *a* (Figura 5), resultado em rendimento quântico máximo do PSII próximo a 0,7. Isso expressa que não ocorreu efeito fotoinibitório, capaz de comprometer a produtividade das minicepas (SCHWALBERT et al., 2022), pois a intensidade luminosa interceptada, não excedeu a capacidade de utilização pela fotossíntese. Concomitantemente, a eficiência metabólica foi evidenciada pela reidratação durante a madrugada (Figura 4), após redução do potencial hídrico nos horários mais quentes do dia, em todos os manejos. Entretanto, o menor potencial hídrico (-3,0 MPa) das minicepas em ME+L, sugere cuidados à perda de turgor e restrição aos processos fotossintéticos, considerando a redução da condutância estomática (TAIZ et al., 2017). Consequentemente, os resultados sugerem necessidade de intensificar o monitoramento do potencial hídrico, irrigação e umidade do ar no minijardim utilizando ME+L, visando avaliar necessidade de aumentar a irrigação.

Em contrapartida, plantas mantidas no MJC com miniestufa e, principalmente, com suplementação luminosa, demandam controle nutricional mais rigoroso (Anexo H), ocorrendo respostas metabólicas negativas que resultaram em manchas foliares (Anexo I). Assim, constatamos que a solução nutritiva utilizada no minijardim clonal foi insuficiente para manter a concentração de N nos tecidos foliares, nos manejos CME e ME+L.

Paralelamente, a partir de amostras desses mesmos tratamentos supracitados, B foi um elemento assimilado em maior concentração, principalmente pelo clone de *E. saligna*, mostrando-se mais exigente. O B tem a capacidade de melhorar a assimilação de nutrientes, permitindo a translocação de açúcares para outros órgãos, além de incrementar o alongamento celular (TAIZ et al., 2017). Fe e Mn, na concentração observada (Anexo H), possivelmente estejam acima dos valores descritos como adequados para *Eucalyptus*, quando comparado ao estudo de Silveira et al. (2001), o que pode proporcionar toxidez às minicepas.

Nesse contexto, apesar da identificação de estratégias relevantes para aumentar a produtividade de miniestacas durante as condições ambientais restritivas do inverno em região subtropical do Brasil, destacamos a necessidade de adequar a fertilização e irrigação para as coletas futuras no MJC. A partir do início da primavera, no verão até meados do outono ocorre a retomada da produção de brotos (BATISTA et al., 2015; LIMA et al., 2021; NILSSON, 2022; GRIEBELER et al., 2023), ocasião em que a suplementação com LED pode ser interrompida.

8. CONCLUSÃO

A utilização de miniestufa associada à suplementação com LED branca é uma alternativa para reduzir a área de minijardim clonal, mantendo coletas necessárias para suprimir as demandas do final do outono e inverno.

Minijardim clonal de *E. saligna* e *E. urophylla* x *E. globulus*, diante uso de miniestufa e suplementação luminosa promove aumento da temperatura, da umidade relativa do ar e concentração de CO₂, permitindo ampliar em 23 % a produtividade de miniestacas. Além disso, o mesmo manejo incrementa a qualidade morfológica das mudas, podendo reduzir o tempo de cultivo em viveiro, não havendo efeitos diretos no enraizamento das miniestacas.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, N. S. et al. The canopy coverage is correlated with the number of shoots produced by *Eucalyptus* clones in a clonal mini-garden. **Canadian Journal of Forest Research**. v. 48, n. 11, p. 1411–1416, 2018.

ALFENAS, A. C. et al. **Clonagem e Doenças do Eucalipto**. 2. ed. Viçosa: MG: Editora UFV, 2009. 500p.

ALTOÉ, J. A. et al. Propagação de araçazeiro e goiabeira via miniestaquia de material juvenil. **Bragantia**, v. 70, n. 2, p. 312-318, 2011.

ARAUJO, M. M.; NAVROSKI, M. C.; SCHORN, L. A. Caracterização e análise de atributos morfológicos e fisiológicos indicadores da qualidade de mudas em viveiro florestal. In: ARAUJO, M. M.; NAVROSKI, M. C.; SCHORN, L. A. (Ed.). **Produção de sementes e mudas: um enfoque à silvicultura**. 1. ed. Santa Maria: editora UFSM, p. 345–365, 2018.

ASSIS, T. F.; FETT-NETO, A. G.; ALFENAS, A. C. Current techniques and prospects for the clonal propagation of hardwood with emphasis on *Eucalyptus*. In: Fort, P. O. et al. (Ed.). **Proceedings of plantation forest biotechnology for the 21st century**. New Delhi: Research Signpost, p. 303-333, 2004.

ASSIS, T. F. Evolution of Technology for Cloning *Eucalyptus* in Large Scale. **Actas-Proceedings**. Chile, p. 22-39, 2001.

ASSIS, T. F.; MAFIA, R. G. Hibridação e clonagem. In: BORÉM, A. (Ed.) **Biotecnologia florestal**. Viçosa-MG, p.93-121, 2007.

ASSIS, T. F. Hybrids and mini-cutting: a powerful combination that has revolutionized the *Eucalyptus* clonal forestry. **BMC Proceedings**, v. 5, p. 7-18, 2011.

ASSIS, T. F. Melhoramento genético de *Eucalyptus*: Desafios e Perspectivas. **3º Encontro Brasileiro de Silvicultura**, Nova Lima, p. 127–148, 2014.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

AGARWAL, A.; GUPTA, D. S. Impact of Light-Emitting Diodes (LEDs) and its Potential on Plant Growth and Development in Controlled-Environment Plant Production System, **Current Biotechnology**. 5. ed. India: Kharagpur, 2016.

BALTIERRA, X. C.; MONTENEGRO G.; GARCÍA, E. Ontogeny of in vitro rooting processes in *Eucalyptus globulus*. **In vitro Cellular and Developmental Biology-Plant**, Washington, v. 40, n. 5, p. 499–503. 2004.

BATISTA, A. F. et al. The use of mini-tunnels and the effects of seasonality in the clonal propagation of Eucalyptus in a subtropical environment. **Australian Forestry**, v. 78, n. 2, p. 65-72, 2015.

BATISTA, D. S. et al. Light quality in plant tissue culture: does it matter?. **In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant**, v. 54, p. 195-215, 2018.

BELLO-BELLO, J. J. et al. Light-emitting diodes: progress in plant micropropagation. In: Jacob-Lopes E (ed) Chlorophyll. InTech, 2017.

BERTOLA, A. **Eucalipto - 100 anos de Brasil: “Falem mal, mas continuem falando de mim!”** V&M Florestal Ltda., p. 91, 2013.

BULA, R. J. et al. Light-emitting diodes as a radiation source for plants. **Hortscience**, v. 26, n. 2, p. 203-205, 1991.

BRIGGS, W. R.; OLNEY, M. A. Photoreceptors in plant photomorphogenesis to date. Five phytochromes, two cryptochromes, one phototropin, and one superchrome. **Plant Physiology**, v. 125, p. 85-88, 2001.

COCETTA, G. et al. Light use efficiency for vegetables production in protected and indoor environments. **The European Physical Journal Plus**, v. 132, n. 43, 2017.

COSTELLA, C. **O uso do estufim e a sazonalidade na produção de mudas de materiais genéticos recalcitrantes ao enraizamento**. 2021, 60 f (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2021.

CUNHA, A. C. M. C. M. DA et al. Relações entre variáveis climáticas com produção e enraizamento de miniestacas de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 195–203, 2009b.

DAVIES, F. T.; GENEVE, R. L.; WILSON, S. B. **Plant Propagation: Principles and Practces**. 9ª Ed. Editora: Pearson, p. 73 - 76. 2018.

DEWIR, Y. H. et al. Flowering of *Euphorbia millii* plantlets in vitro as affected by paclobutrazol, light emitting diodes (LEDs) and sucrose. **Acta Horti**, p. 196-174, 2007.

EMBRAPA. Cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda. Colombo, PR: **Embrapa Florestas**, 140 p., 2014.

EMBRAPA. O eucalipto. Colombo, PR: **Embrapa Florestas**, 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/florestas/transferencia-de-tecnologia/eucalipto>. Acesso em: 16 mar. 2023.

- ENGEL, M. L. et al. Use of mini polytunnels for the maintenance of a clone garden of *Acacia mearnsii* de Wildeman in different seasons of the year. **Revista Floresta**. Curitiba-PR, v. 48, n. 4, p. 601-608, 2018.
- FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. **ExpDes: An R Package for ANOVA and Experimental Designs Applied Mathematics R package**, 2018.
- FOELKEL, C. Propriedades Papeleiras das Árvores, Madeiras e Fibras Celulósicas dos Eucaliptos. **Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel**, 111 p., 2009.
- FOELKEL, C. E. B.; BARRICHELO, L. E. G.; MILANEZ, A. F. Estudo comparativo das madeiras de *Eucalyptus saligna*, *E. paniculata*, *E. citriodora*, *E. maculata* e *E. tereticornis* para produção de celulose sulfato. **Ipef**, São Paulo, v. 10, 1975.
- GUPTA, S. D.; JATOTHU, B. Fundamentals and applications of light-emitting diodes (LEDs) in in vitro plant growth and morphogenesis. **Plant Biotechnology Reports**, v. 7, p. 211–220, 2013.
- GRIEBELER, A. M. et al. Influence of mini-tunnel and different rooting environments on the production of rooted mini-cuttings of subtropical *Eucalyptus*. **New Forests**, 18 P., 2023.
- HARTMANN, H. T. et al. **Plant propagation principles and practices**. New York: Prentice-Hall International, 2002, 880 p.
- HARTMANN, H. T. et al. **Plant propagation principles and practices**. New York: Prentice-Hall International, 2011, 770 p.
- HARTMANN, H. T. et al. **Plant propagation principles and practices**. 1. ed. Pearson Education Limited, 2014, 927 p.
- HEO, J. W. et al. Light quality affects in vitro growth of grape ‘Teleki 5BB7’. **Journal of Plant Biology**, v. 49, p. 276-280, 2006.
- HIGASHI, E. N.; SILVEIRA, R. L. V. A.; GONÇALVES, A. N. Monitoramento nutricional e fertilização em macro, mini e microjardim clonal de *Eucalyptus*. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. Nutrição e fertilização florestal. **Ipef**, Piracicaba, p.191-217, 2000a.
- IBÁ, **Relatório 2023 (ano-base 2022)**. Indústria Brasileira de Árvores, Brasília, 80 p. 2023.
- JOVANOVIC, T.; BOOTH, T. H. Improved Species Climatic Profiles. **RIRDC**, Austrália, 2002. 74 p. Disponível em: <https://agrifutures.com.au/wp-content/uploads/publications/02-095.pdf>. Acesso em: 16/02/2023.
- KENDRICK, R. E.; Kronenberg, G. H. Photomorphogenesis in plants. **Springer Science e Business Media Kluwer**, 2 ed. 803 p., 2012.
- KIM, H. H. et al. Green light supplementation for enhanced lettuce growth under red and blue light emitting diodes. **HortScience**, v. 39, n. 7, p. 1617-1622, 2004.
- KONZEN, E. R.; BERGONCI, T.; BRONDANI, G. E. Produção de mudas por propagação vegetativa. In: **Produção de sementes florestais: um enfoque a silvicultura**. 1. ed. Santa Maria: Editora UFSM, 2018. p. 448.
- LI, C-X. et al. An RNA-Seq Analysis of Grape Plantlets Grown in vitro Reveals Different Responses to Blue, Green, Red LED Light, and White Fluorescent Light. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, 2017.

LIMA, W. P; JARVIS, P; RHIZOPOULOU, S. Stomatal Responses of Eucalyptus Species To Elevated CO₂ Concentration and Drought Stress. **Scientia Agricola**, v. 60, p. 231-238, 2003.

LIMA, Marllós Santos et al. Mini-cutting technique application in Corymbia and Eucalyptus: effects of mini-tunnel use across seasons of the year. **New Forests**, v. 53, p. 161-179, 2021.

MAUNEY, J. R. et al. Growth and yield of cotton in response to a free-air carbon dioxide enrichment (FACE) environment. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 70, p. 49-67, 1994.

MARCÓ, M. Mejores árboles para más forestadores: el programa de producción de material de propagación mejorado y el proyecto forestal de desarrollo. Buenos Aires: **Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos**, 1 ed. 241 p. 2005.

MARTIM, B.; COSSALTER, C. Les *Eucalyptus* des Iles de La Sonde. **Bois et forets des tropiques**, v. 163, p. 3-25, 1975.

NERY, J. T. Dinâmica climática da região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 1, n. 1, p. 61-75, 2005.

NILSSON, O. Winter dormancy in trees. **Current Biology**, v. 32, n. 12, p. 630-634, 2022.

OLIVEIRA, A. S. **Propagação clonal de eucalipto em ambiente protegido por estufins**: produção, ecofisiologia e modelagem do crescimento das miniestacas. 2016. 48 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Meteorologia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

OLIVEIRA, V. T. et al. Physiology and Productivity of *Eucalyptus dunnii* Maiden mini-Stumps Submitted to light Supplementation in a Clonal Mini-Garden. 2021.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T. DOS; FERREIRA, C. A. Eucaliptos indicados para plantio no estado do Paraná. Colombo: Embrapa Florestas, 2006. 45 p.

PATTISON, P. M. et al. LEDs for photons, physiology and food. **Nature**, v. 563, p. 493-500, 2018.

PIRES, P. P. et al. Climatic oscillations in the production of *Eucalyptus benthamii* × *E. dunnii* shoots in mini-clonal hedge. **Embrapa florestas**, v. 38, n. 3, p. 487-493, 2017.

POYNTON, R.J. Tree planting in Southern Africa: The *Eucalyptus*. Republic of South Africa: **Department of Forestry**, v.2, 882 p., 1979.

POTTS, B. M. et al. (2004) Exploration of the Eucalyptus globulus gene pool. Aveiro: Portugal. **IUFRO Conference "Eucalyptus in a changing world"**, p. 11-15, 2004.

R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. 2018.

SILVEIRA, R. L.V. et al. Seja o doutor do seu eucalipto. **Informações Agronômicas**, n. 93, 2001.

SCANAVACA, L. J.; GARCIA, J. N. Potencial de melhoramento genético em *E. urophylla* procedente da ilha Flores. **Scientia forestalis**, v. 64, p. 23-32, 2003.

SCHOLANDER, P. F. et al. Sap pressure in vascular plants. **Science**, 1965.

SHUKLA, M. R. et al. Application of 3D printing to prototype and develop novel plant tissue culture systems. **Plant Methods**, v. 13, n. 6, 2017.

TAIZ, L. et al. Estresse abiótico. In: **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. p. 858.

TEDESCO, M. J. et al. Análise de solos, plantas e outros materiais. Porto Alegre. Boletim técnico nº 5, 2 ed., 1995, 170p.

TITON, M. et al. Eficiência das minicepas e microcepas na produção de propágulos de clones de *Eucalyptus grandis*. **Revista Arvore**, Viçosa, v.27, n.5, p.619-625, 2003.

TRUEMAN, S.J., MCMAHON, T.V., BRISTOW, M. Production of cuttings in response to stock plant temperature in the subtropical eucalypts, *Corymbia citriodora* and *Eucalyptus dunnii*. **New Forest**, v. 44, p. 265-279, 2013a.

WANG, H. et al. Effects of light quality on CO₂ assimilation, chlorophyll-fluorescence quenching, expression of Calvin cycle genes and carbohydrate accumulation in *Cucumis sativus*. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 96, n. 1, p. 30-37, 2009.

XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R. L. **Silvicultura clonal: princípios e técnicas**. Viçosa: UFV, 2009. 272p.

XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R. L. DA. **Silvicultura clonal: princípios e técnicas**. 1. ed. Viçosa: UFV, 2013a.

YEH, N.; CHUNG, J-P. High-brightness LEDs-energy efficient lighting sources and their potential in indoor plant cultivation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, n. 8, p. 2175-2180, 2009.

ZHANG, Y.; WANG, X. Geographical spatial distribution and productivity dynamic change of eucalyptus plantations in China. **Scientific Reports**, v. 11, n. 19764, 2021.

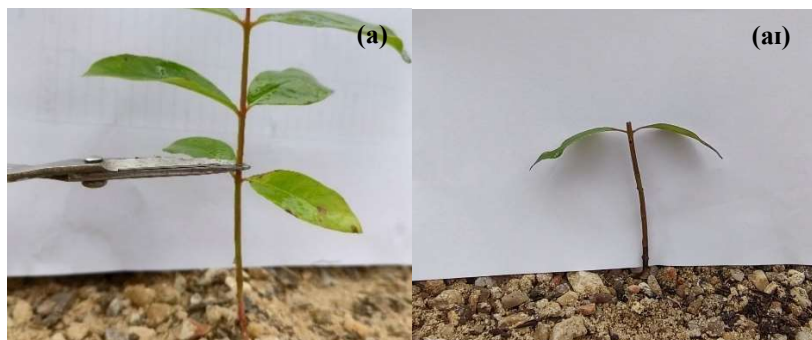
10. ANEXOS

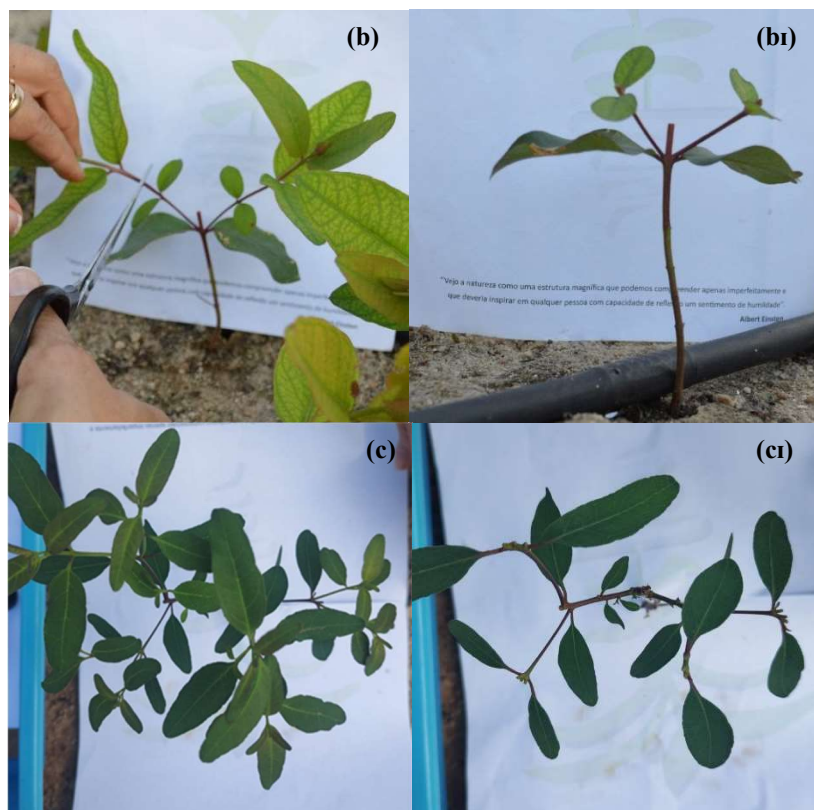
Anexo A – Montagem do minijardim clonal, em que (a) revestimento do Kalhetão® com lona, (b) camada de brita (5 cm), (c) sombrite para evitar que a areia se misture com a brita e (d) camada de areia (utilizada como substrato para plantio das mudas), no sul do Brasil.



Fonte: Autora (2024).

Anexo B - Podas de formação das minicepas, no formato taça baixa, em que (a e a1) primeira poda, (b e b1) segunda poda e (c e c1) retirada de brotos ladrão e terceira poda, no sul do Brasil.





Fonte: Autora (2024).

Anexo C – Manejos utilizados no MJC: (a) sem miniestufa - SME, (b) com miniestufa - CME e (c) miniestufa + suplementação luminosa ME+L, no sul do Brasil.



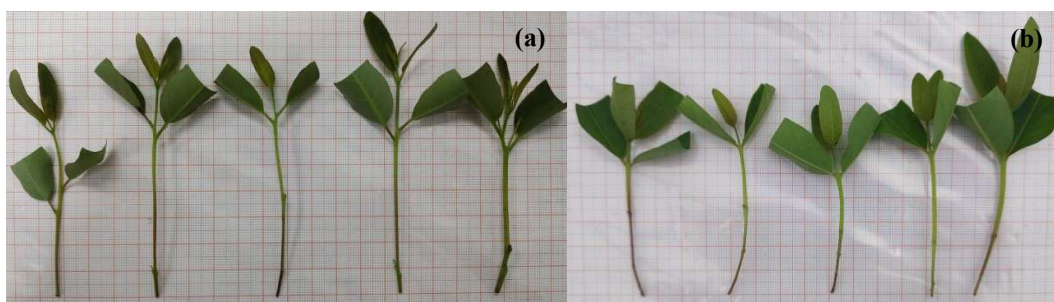
Fonte: Autora (2024).

Anexo D– Cobertura com filme plástico preto para impedir a passagem da luz para os outros tratamentos, em que (a) sem filme plástico preto e (b) com filme plástico preto, no sul do Brasil.



Fonte: Autora (2024).

Anexo E - Confecção das miniestacas, em que (a) *E. saligna* e (b) de *E. urophylla* x *E. globulus*, no sul do Brasil.



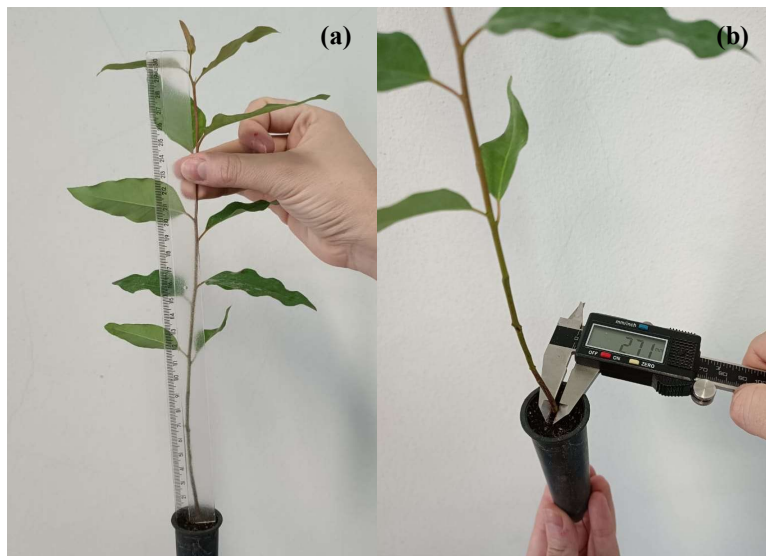
Fonte: Autora (2024).

Anexo F - Análise da emissão de fluorescência da clorofila, sendo (a) com prévia aclimação da folha por 30 minutos no escuro e (b) folha submetida a pulso de luz e análise do rendimento quântico por meio da fluorescência da clorofila a, no sul do Brasil.



Fonte: Autora (2024).

Anexo G - Mensuração da altura (a) e diâmetro do colo (b) para caracterização morfológica das mudas, no sul do Brasil.



Fonte: Autora (2024).

Anexo H - Análise nutricional das miniestacas de *E. saligna* (Saligna) e *E. urophylla* x *E. globulus* em diferentes manejos de MJC (sem miniestufa – SME, com miniestufa – CME e miniestufa + suplementação luminosa – ME+L), no sul do Brasil.

Clone	Manejo	C % (m/m)	N % (m/m)	P % (m/m)	K % (m/m)	Ca % (m/m)	Mg % (m/m)	S % (m/m)	Fe (mg/kg)	Na (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)	B (mg/kg)
Saligna	SME	41	3,81	0,5	3,3	0,9	0,25	1,33	495,03	4605	17,71	49,79	1680,65	72,89
Saligna	CME	42	3,5	0,43	2,53	0,78	0,21	1,13	1065,56	3690	20,58	40,61	1743,37	92,22
Saligna	ME+L	41	3,19	0,49	2,75	0,71	0,23	1,64	1654,77	3930	20,35	49,32	1400,65	91,25
Uroglobulus	SME	41	3,72	0,44	3,58	0,75	0,2	1,48	274,33	4215	15,06	44,42	1769,12	106,91
Uroglobulus	CME	41	3,24	0,37	2,75	0,87	0,18	1,11	122,3	3420	17,05	45,68	1932,73	102,37
Uroglobulus	ME+L	40	3,06	0,4	3,05	0,88	0,21	1,39	272,69	3480	17,35	50,04	1876,01	107,59

Onde: C: carbono; N: nitrogênio; P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; S: enxofre; Fe: ferro; Na: sódio; Cu: cobre; Zn: zinco; Mn: manganês; B: boro.

Fonte: Autora (2024).

Anexo I - Sintomas visuais de deficiência nutricional nos ambientes CME e ME+L, em que (a) *E. saligna* e (b) *E. urophylla* x *E. globulus*, durante período do experimento, no sul do Brasil.

