

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

**Telas de sombreamento fotosseletivas e convencional na propagação clonal
de híbridos de *Eucalyptus* spp. e de *Corymbia* spp**

Jefferson Carneiro de Paula
Magister Scientiae

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2025**

JEFFERSON CARNEIRO DE PAULA

**Telas de sombreamento fotosseletivas e convencional na propagação clonal
de híbridos de *Eucalyptus* spp. e de *Corymbia* spp**

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

Orientador: Aloisio Xavier

Coorientadores: Jean Marcel Sousa Lira
Samuel C. Vitor Martins

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2025**

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

T

P324t
2025
Paula, Jefferson Carneiro de, 1995-
Telas de sombreamento fotosseletivas e convencional na
propagação clonal de híbridos de *Eucalyptus* spp. e de *Corymbia*
spp. / Jefferson Carneiro de Paula. – Viçosa, MG, 2025.
1 dissertação eletrônica (68 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Aloísio Xavier.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Engenharia Florestal, 2025.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2025.722>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Plantas - Propagação por estaquia. 2. Clonagem.
3. Plantas - Fotomorfogênese. 4. Manejo ambiental. I. Xavier,
Aloísio, 1965-. II. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Engenharia Florestal. Programa de
Pós-Graduação em Ciência Florestal. III. Título.

GFDC adapt. CDD 22. ed. 634.9232328

JEFFERSON CARNEIRO DE PAULA

Telas de sombreamento fotosselativas e convencional na propagação clonal de híbridos de *Eucalyptus* spp. e de *Corymbia* spp

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

APROVADA: 4 de agosto de 2025.

Assentimento:

Jefferson Carneiro de Paula
Autor

Aloisio Xavier
Orientador

Essa dissertação foi assinada digitalmente pelo autor em 03/11/2025 às 08:22:04 e pelo orientador em 03/11/2025 às 10:00:07. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **C6I3.2IYI.RV2V** e clique no botão 'Validar documento'.

A minha família e amigos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida, proteção e oportunidades.

Aos meus pais, José Vitor e Imaculada, e à minha irmã Gabriela, pelo apoio incondicional, amor e incentivo durante toda a minha vida.

Ao professor e amigo Aloisio Xavier, pela orientação, confiança, conselhos, ensinamentos e oportunidades nesta longa caminhada, que me proporcionaram as condições necessárias para me tornar o profissional que sou hoje.

Aos professores Samuel Martins e Jean Marcel, pela coorientação e contribuições significativas.

Ao Rafael Arlindo, pela amizade, colaboração e pelo tempo dedicado, o qual foi imprescindível para a execução dos experimentos.

Ao Marciel Lelis, Karina Reis e Hiago Antônio pelas horas de contribuição com este trabalho, cujo apoio foi primordial.

À doutoranda Mayra Castro, pelas dicas e contribuições com as análises laboratoriais, e ao doutorando Edgard Vinícius, pelo apoio e sugestões na pesquisa.

Ao Alex Freitas, pela mentoria, amizade e por me apresentar ao mundo do viveiro.

A todos os membros do Viveiro de Pesquisas do Departamento de Engenharia Florestal – UFV, pelo auxílio e ajuda, em especial à mestranda Virgínia, ao Lucas e Josimar.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

Ao Departamento de Engenharia Florestal, ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, ao Viveiro de Pesquisas do DEF, e ao Departamento de Biologia Vegetal pelo suporte.

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

*“A fé em Deus ilumina o caminho, o trabalho constante fortalece a jornada, e a persistência nos leva além das dificuldades”
(Autor desconhecido)*

RESUMO

PAULA, Jefferson Carneiro de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2025. **Telas de sombreamento fotosseletivas e convencional na propagação clonal de híbridos de *Eucalyptus* spp. e de *Corymbia* spp.** Orientador: Aloísio Xavier. Coorientadores: Jean Marcel Sousa Lira e Samuel Cordeiro Vitor Martins.

A miniestaquia é uma técnica de propagação vegetativa amplamente empregada na produção clonal de mudas de *Eucalyptus* spp. e *Corymbia* spp., sendo o minijardim clonal e a casa de vegetação ambientes fundamentais para o sucesso desse processo. Este trabalho avaliou os efeitos de telas de sombreamento fotosseletivas (vermelha e azul) e convencional (preta) sobre duas etapas da propagação clonal: (1) a produtividade de miniestacas e suas variáveis morfológicas e bioquímicas no minijardim clonal; (2) o enraizamento e a sobrevivência das miniestacas na casa de vegetação. Foram testados três clones híbridos, dois de *Corymbia citriodora* × *C. torelliana* e um de *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis*, ao longo das estações do ano. No minijardim clonal, o sombreamento reduziu algumas variáveis morfológicas e bioquímicas, mas promoveu adaptações como maior razão de área foliar e acúmulo de pigmentos fotossintéticos, com destaque para o clone E1 (*Eucalyptus* spp.), que apresentou maior plasticidade e produtividade em todos os ambientes. Na casa de vegetação, as combinações com sombreamento em ambos os ambientes favoreceram o enraizamento, com resultados positivos observados tanto para o clone C1 (*Eucalyptus* spp.), como especialmente para os clones de *Corymbia* spp., mais sensíveis às variações ambientais, evidenciando a efetividade do sombreamento no estímulo à rizogênese. A criação de um microclima atenuado ao longo de toda a cadeia de produção — do minijardim clonal à casa de vegetação — mostrou-se estratégica para a manutenção da produtividade de miniestacas e para a indução do enraizamento, sobretudo nos clones aqui testados. Assim, o manejo do sombreamento se consolida como ferramenta técnica eficaz para a propagação clonal de espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia*.

Palavras-chave: propagação vegetativa; miniestaquia; clonagem; silvicultura clonal; fotomorfogênese; manejo ambiental

ABSTRACT

PAULA, Jefferson Carneiro de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2025. **Photosensitive and conventional shading nets in the clonal propagation of hybrids of *Eucalyptus* spp. and the *Corymbia* spp.** Adviser: Aloisio Xavier. Co-advisers: Jean Marcel Sousa Lira and Samuel Cordeiro Vitor Martins.

Mini-cutting is a widely used vegetative propagation technique for clonal cuttings production of *Eucalyptus* spp. and *Corymbia* spp., with the mini-clonal hedge and greenhouse being key environments for the success of this process. This study evaluated the effects of photosensitive shading nets (red and blue) and conventional netting (black) on two stages of the clonal propagation process: (1) the productivity of mini-cuttings and their morphological and biochemical variables in the clonal mini-garden; (2) the rooting and survival of mini-cuttings in the greenhouse. Three hybrid clones were tested, two of *Corymbia citriodora* × *C. torelliana* and one of *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis*, throughout the seasons of the year. In the clonal mini-garden, shading reduced some morphological and biochemical variables, but promoted adaptations such as increased leaf area ratio and accumulation of photosynthetic pigments, with emphasis on clone E1 (*Eucalyptus* spp.), which showed greater plasticity and productivity under all conditions. In the greenhouse, the combinations with shading in both environments favored rooting, with positive results observed both for clone C1 (*Eucalyptus* spp.) and especially for the clones of *Corymbia* spp., which are more sensitive to environmental variations, evidencing the effectiveness of shading in stimulating rhizogenesis. The creation of a moderated microclimate throughout the entire clonal propagation chain—from the mini-clonal hedge to the greenhouse—proved to be a strategic approach for maintaining mini-cutting productivity and stimulating root formation, especially in the tested clones. Thus, shading management stands out as an effective technical tool for the clonal propagation of species from the *Eucalyptus* and *Corymbia* genera.

Keywords: vegetative propagation; mini-cutting; cloning; clonal forestry; photomorphogenesis; environmental management

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	10
2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	12
PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE MINIESTACAS DE CLONES HÍBRIDOS DE <i>Eucalyptus</i> SPP. E DE <i>Corymbia</i> SPP. EM MINIJARDIM CLONAL SUBMETIDAS A DIFERENTES TELAS DE SOMBREAMENTO FOTOSSELETIVAS E CONVENCIONAL.....	15
RESUMO.....	15
ABSTRACT	16
1. INTRODUÇÃO.....	17
2. MATERIAIS E MÉTODOS	18
2.1. Minijardim clonal	19
2.2. Telas de sombreamento fotosseletivas e tela preta convencional	21
2.3. Delineamento experimental	22
2.4. Análises morfológicas	22
2.4.1. Área foliar e razão de área foliar (RAF)	22
2.4.2. Altura da miniestaca, comprimento e diâmetro do entrenó.....	23
2.4.3. Produtividade do minijardim.....	23
2.5. Análises bioquímicas	23
2.5.1. Quantificação dos pigmentos e amido	23
2.6. Análises estatísticas.....	24
3. RESULTADOS	24
3.1. Características morfológicas.....	24
3.2. Características bioquímicas	26
3.3. Produtividade dos minijardins clonais	29
4. DISCUSSÃO.....	30
4.1. Morfologia	30
4.2. Bioquímica.....	31
4.3. Produtividade.....	32
5. CONCLUSÕES.....	34
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35

ENRAIZAMENTO DE MINIESTACAS DE CLONES HÍBRIDOS DE <i>Eucalyptus</i> SPP. E DE <i>Corymbia</i> SPP. SOB DIFERENTES TELAS DE SOMBREAMENTO FOTOSSELETIVAS E CONVENCIONAL EM CASA DE VEGETAÇÃO	41
RESUMO	41
ABSTRACT	42
1. INTRODUÇÃO	43
2. MATERIAIS E MÉTODOS	45
2.1. Minijardim clonal	45
2.2. Telas de sombreamento fotosseletivas e tela preta convencional	46
2.3. Delineamento experimental	47
2.4. Preparação dos recipientes e substrato	47
2.5. Miniestacas, armazenamento e estaqueamento	48
2.6. Casa de vegetação e casa de aclimação	49
2.7. Análises estatísticas	53
3. RESULTADOS	53
3.1. Enraizamento na saída da casa de sombra	53
4. DISCUSSÃO	56
4.1. Enraizamento e sobrevivência	56
5. CONCLUSÕES	60
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
3. CONCLUSÕES GERAIS	68

1. INTRODUÇÃO GERAL

A propagação vegetativa é considerada a base da silvicultura clonal devido à sua capacidade de preservar os ganhos genéticos conquistados pelos programas de melhoramento, sendo a miniestaquia uma das principais técnicas utilizadas para a produção de mudas de clones selecionados (Xavier *et al.*, 2021), tanto de espécies puras quanto de híbridos interespecíficos, a fim de garantir a produção eficiente de fibras, celulose e madeira (Vilasboa *et al.*, 2019).

A técnica da miniestaquia é amplamente aplicada por empresas florestais na produção de mudas clonais de *Eucalyptus*, sendo considerada a técnica de propagação mais utilizada (Wendling *et al.*, 2021). No entanto, para outras espécies com potencial para a silvicultura de produção no setor florestal, essa técnica ainda está em fase de ajustes. Entre essas espécies, destacam-se as do gênero *Corymbia* spp., que vêm ganhando atenção devido às suas características de crescimento, produtividade, resistência a pragas e doenças, tolerância a déficit hídrico e geadas (Assis, 2014; Costa *et al.*, 2022a; Oliveira *et al.*, 2024).

O interesse crescente nesse gênero ocorre como uma abordagem para enfrentar desafios relacionados a condições ambientais adversas e para contribuir com o aumento da produtividade florestal, visto que híbridos de *Corymbia*, especialmente os cruzamentos entre *C. torelliana* e *C. citriodora*, são reconhecidos por sua resistência a distúrbios fisiológicos, além de apresentarem características como alta densidade da madeira e rápido crescimento (Assis, 2014; Damacena, 2019). Assim, clones de *Corymbia* spp. têm sido explorados como fontes alternativas de fibra ao eucalipto na produção de celulose (Costa *et al.*, 2022b) e demonstram alto potencial para a produção de carvão vegetal de qualidade superior (Peres *et al.*, 2019; Oliveira *et al.*, 2023).

O objetivo da estaquia é gerar uma nova muda a partir de um segmento de caule, folha ou raiz, quando inserido em um substrato adequado, permitindo o enraizamento e o desenvolvimento da parte aérea (Xavier *et al.*, 2021). Entretanto, o enraizamento adventício é um processo bastante complexo e regulado em diversos níveis, sendo influenciado por uma variedade de fatores endógenos e ambientais, sendo que em diversas situações, genótipos altamente desejados para uso industrial apresentam recalcitrância ao enraizamento (Brondani *et al.*, 2018; Vilasboa *et al.*, 2019; Xavier *et al.*, 2021), como ocorre com a maioria das espécies do gênero *Corymbia* spp. e seus híbridos (Reis *et al.*, 2013; Oliveira, 2023), o que dificulta a produção de mudas clonais dessas espécies (Lima, 2022).

No processo de propagação vegetativa por miniestaquia, além do genótipo, fatores como luz, umidade e temperatura presentes no ambiente onde se encontram as minicepas e as miniestacas influenciam fortemente a eficácia do enraizamento (Alfenas *et al.*, 2009; Hartmann *et al.*, 2014; Xavier *et al.*, 2021; Griebeler *et al.*, 2024). Acredita-se que a intensidade, a qualidade da luz e o fotoperíodo exercem influência indireta no enraizamento, pois esses fatores são considerados importantes para a produção de fitohormônios, carboidratos, cofatores de enraizamento e substâncias de crescimento endógenas, essenciais para a iniciação e o desenvolvimento rizogênico (Alfenas *et al.*, 2009; Almeida *et al.*, 2017; Xavier *et al.*, 2021).

Além disso, tanto a qualidade quanto a quantidade da radiação luminosa podem influenciar diretamente a atividade, o transporte e a disponibilidade da auxina, principal fitohormônio envolvido no processo de enraizamento (Ruedell *et al.*, 2015; Almeida *et al.*, 2017). Ressalta-se que a auxina é um composto fotodegradável (Hartmann *et al.*, 2014), e que sua ação eficaz na indução da formação de raízes requer uma elevada relação auxina/citocinina (Hartmann *et al.*, 2014; Xavier *et al.*, 2021). Contudo, a redução da luz e sua qualidade espectral ainda são pouco exploradas, e há escassez de informações sobre seus efeitos na qualidade das miniestacas e no enraizamento adventício em ambientes de viveiro, estando esses estudos geralmente limitados a laboratórios de micropropagação.

A luz solar desempenha um papel fundamental no processo fotossintético, essencial para o crescimento e o desenvolvimento das plantas (Dai *et al.*, 2024). Os principais pigmentos especializados na absorção de luz são as clorofilas, que absorvem preferencialmente os comprimentos de onda vermelho (660 nm) e azul (430 nm), uma vez que a qualidade da luz é de grande importância para o desenvolvimento vegetal, pois as fotorespostas nas plantas são ativadas pela qualidade da luz ou das propriedades espectrais da energia absorvida (Taiz *et al.*, 2022).

Além de sua atuação na fotossíntese, a luz exerce influência direta sobre outros processos fisiológicos essenciais ao desenvolvimento vegetal. Entre eles, destacam-se a fotomorfogênese, o desenvolvimento radicular e a biossíntese de flavonoides, processos mediados pelo fator de transcrição hipocótil-5 alongado (HY5), cuja ativação depende da presença de luz (Gangappa; Botto, 2016; Xiao *et al.*, 2022; Mankotia *et al.*, 2024).

Por outro lado, a radiação solar excessiva, especialmente a UV-B, pode causar fotoinibição e estresse oxidativo nas plantas, reduzindo a fotossíntese (Podolec *et al.*, 2021; Kumari *et al.*, 2022; Dai *et al.*, 2024).

Assim, considerando os possíveis efeitos da luz na produção e qualidade das miniestacas, bem como no enraizamento adventício, a manipulação controlada desse fator se apresenta como uma estratégia promissora para potencializar a eficiência da propagação vegetativa de híbridos de *Eucalyptus* e *Corymbia*. Essa abordagem pode complementar práticas já estabelecidas, contribuindo para superar limitações relacionadas à recalcitrância ao enraizamento e fortalecer o uso desses materiais em programas de melhoramento genético florestal.

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos de telas de sombreamento fofosseletivas vermelha e azul, bem como da tela preta convencional, sobre miniestacas de clones híbridos de *Eucalyptus* e de *Corymbia*, em minijardim clonal e em casa de vegetação, com foco na produtividade, enraizamento e qualidade das mudas clonais.

2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFENAS, A. C.; ZAUZA E. A. V.; MAFIA, G. R.; ASSIS, T. F. **Clonagem e doenças do eucalipto**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2009.

ALMEIDA, M. R.; AUMOND, M. J.; COSTA, C. T.; SCHWAMBACH, J.; RUEDEL C. M.; CORREA, L. R.; FETT-NETO A. G. Environmental control of adventitious rooting in *Eucalyptus* and *Populus* cuttings. **Trees**, v. 31, p. 1377-1390, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00468-017-1550-6>. Acesso em: 28 abr. 2025.

ASSIS, T. F. Melhoramento genético de *Eucalyptus*: desafios e perspectivas. **Anais do 3º Encontro Brasileiro de Silvicultura**, 2014, Campinas-SP, p. 113-129. 2014.

BRONDANI, G. E.; OLIVEIRA, L. S. D. E.; KONZEN, E. R.; SILVA, A. L. L. D. A.; COSTA, J. L. Mini-incubators improve the adventitious rooting performance of *Corymbia* and *Eucalyptus* microcuttings according to the environment in which they are conditioned. **Anais Da Academia Brasileira De Ciencias**, v. 90, n. 2 suppl 1, p. 2409-2423, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720170284>. Acesso em: 27 abr. 2025.

COSTA, M. M. da; NOGUEIRA, T. A. P. C.; BITTENCOURT, R. de C.; SILVA, W. H. M. da; SILVA, L. S.; ALMEIDA, R. F. de; SANTOS, G. A. dos; PENA, C. A. A. Assessment of industrial performance for market pulp production between *eucalypt* and *corymbia* hybrids clones. **Revista Árvore**, v. 46, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-908820220000028>. Acesso em: 28 abr. 2025.

COSTA, M. M. da; BITTENCOURT, R. de C.; NOGUEIRA, T. A. P. C.; SILVA, L. S.; SILVA, W. H. M. da; VALVERDE, S. R.; SANTOS, G. A. dos; COELHO, D. A. F.; PENA, C. A. A. Technical evaluation of hybrid clones of *Corymbia* spp. to produce market pulp. **Paper and Biomaterials**, v. 7, n. 3, p. 1-6, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1213/j.issn.2096-2355.2022.03.001>. Acesso em: 28 abr. 2025.

DAI, Y.; LI, M.; LI, H.; XIA, L.; ZHANG, S. Phytohormone-regulated UV-B photomorphogenesis and acclimation. **Environmental and Experimental Botany**, v. 224, p. 105830, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2024.105830>. Acesso em: 29 abr. 2025.

DAMACENA, M. B. **Melhoramento para redução de kino em clones híbridos de *Corymbia* sp. e *Eucalyptus* sp.** 2019. 84 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2019. Disponível em: <https://locus.ufv.br/handle/123456789/29146>. Acesso em: 21 abr. 2025.

GANGAPPA, S. N.; BOTTO, J. F. The multifaceted roles of HY5 in plant growth and development. **Molecular plant**, v. 9, n. 10, p. 1353-1365, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.molp.2016.07.002>. Acesso em: 21 abr. 2025.

GRIEBELER, A. M.; ARAUJO, M. M.; TURCHETTO, F.; COSTELLA, C.; GASPARIN, E.; BERGHETTI, Á. L. P.; LIMA, M. S. de.; PIMENTEL, N.; DOS SANTOS, O. P. Influence of mini-tunnel and different rooting environments on the production of rooted mini-cuttings of subtropical *Eucalyptus*. **New Forests**, v. 55, n. 3, p. 459-476, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11056-023-09988-4> Acesso em: 28 abr. 2025.

HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E.; DAVIES, F. T.; GENEVE, R. L. **Hartmann & Kester's plant propagation: principles and practices**. 8. ed. Boston: Pearson Education, 2014. Acesso em: 23 abr. 2025.

KUMARI, P.; THAKUR, R.; SINGH, N.; RASTOGI, A.; YADAV, S. Relationships of oxidative stress and ultraviolet-B radiation in plants. In: KATARIA, S.; SINGH, V. P. (org.). **UV-B radiation and crop growth**. Singapore: Springer, 2022. p. 277-291. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-19-3620-3_13. Acesso em: 23 abr. 2025.

LIMA, M. S. de. **Efeito do estufim e da aplicação de AIB na produtividade efetiva de mudas clonais de *Corymbia torelliana* × *Corymbia citriodora***. 2022. 63 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/24677>. Acesso em: 30 abr. 2025.

MANKOTIA, S.; JAKHAR, P.; SATBHAI, S. B. HY5: a key regulator for light-mediated nutrient uptake and utilization by plants. **The new phytologist**, v. 241, n. 5, p. 1929-1935, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/nph.19516>. Acesso em: 23 abr. 2025.

OLIVEIRA, A. M. de. **Cenário brasileiro de inoculantes e aplicações de bactérias endofíticas em *Corymbia***. 2023. 72 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2023.

OLIVEIRA, A. M.; COSTA, M. R.; GRAZZIOTTI, P. H.; ABREU, C. M.; AVELINO, N. R.; REIS, L. A. C.; ANDRADE, G. F. P.; MENEZES, J. F. S. Initial development of *Corymbia citriodora* × *Corymbia torelliana* plants inoculated with endophytic bacteria under indole butyric acid concentrations. **New Forests**, v. 55, p. 1669-1686, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11056-024-10053-x>. Acesso em: 9 jun. 2025.

OLIVEIRA, L. P. de.; CARNEIRO, A. de C. O.; PERES, L. C.; DEMUNER, I. F.; FERREIRA, S. O.; FERNANDES, S. A.; JORGE, F. de J. Wood and charcoal quality in the selection of eucalyptus spp. Clones and corymbia torelliana x corymbia citriodora for steel industry. **Revista Árvore**, v. 47, p. e4722, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-908820230000022>. Acesso em: 23 abr. 2025.

PERES, L. C.; CARNEIRO, A. de C. O.; FIGUEIRÓ, C. G.; FIALHO, L. D. F.; GOMES, M. F.; VALENTE, B. M. D. R. T. Clonal selection of Corymbia for energy and charcoal production. **Advances in Forestry Science**, v. 6, n. 3, p. 749-749, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.34062/afs.v6i3.8293>. Acesso em: 22 abr. 2025.

PODOLEC, R.; DEMARSY, E.; ULM, R. Perception and signaling of ultraviolet-B radiation in plants. **Annual review of plant biology**, v. 72, n. 1, p. 793-822, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050718-095946>. Acesso em: 22 abr. 2025.

REIS, C. A. F.; ASSIS, T. F. de.; SANTOS, A. M.; PALUDZYSZYN FILHO, E. **Corymbia citriodora**: estado da arte de pesquisas no Brasil. Colombo: Embrapa Florestas, 2013.

RUEDELL, C. M.; ALMEIDA, M. R. de.; FETT-NETO, A. G. Concerted transcription of auxin and carbohydrate homeostasis-related genes underlies improved adventitious rooting of microcuttings derived from far-red treated Eucalyptus globulus Labill mother plants. **Plant physiology and biochemistry**, v. 97, p. 11–19, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.09.005>. Acesso em: 28 abr. 2025.

TAIZ, L.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A.; ZEIGER, E. **Plant Physiology and Development**. 7. ed. New York, NY, USA: Sinauer Associates; Oxford University Press, 2022.

VILASBOA, J.; de COSTA, C. T.; FETT-NETO, A. G. Rooting of eucalypt cuttings as a problem-solving oriented model in plant biology. **Progress in Biophysics and Molecular Biology**, v. 146, p. 85-97, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2018.12.007>. Acesso em: 20 abr. 2025.

WENDLING, I. *et al.* Produção de mudas de eucalipto. [S. l.]. In: OLIVEIRA, E. B. de; PINTO JUNIOR, J. E. (Ed.). **O eucalipto e a Embrapa**: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento. Brasília, DF: Embrapa, 2021. cap. 22., 2021.

XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R. L. da. **Silvicultura Clonal**: princípios e técnicas. 3. ed. Viçosa – MG: Editora UFV, 2021. 275 p.

XIAO, Y.; CHU, L.; ZHANG, Y.; BIAN, Y.; XIAO, J.; XU, D. HY5: A pivotal regulator of light-dependent development in higher plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 800989, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.800989>. Acesso em: 30 abr. 2025.

PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE MINIESTACAS DE CLONES HÍBRIDOS DE *Eucalyptus* SPP. E DE *Corymbia* SPP. EM MINIJARDIM CLONAL SUBMETIDAS A DIFERENTES TELAS DE SOMBREAMENTO FOTOSSELETIVAS E CONVENCIONAL

RESUMO

Os minijardins clonais desempenham um papel fundamental na produção de miniestacas de *Eucalyptus* spp. e *Corymbia* spp., permitindo maior controle ambiental e manejo intensivo das minicepas. No entanto, a produtividade pode ser significativamente influenciada pela intensidade e qualidade da luz. Telas de sombreamento fotosseletivas (vermelha e azul) e convencionais (preta) podem modular essas características luminosas, interferindo no desenvolvimento morfológico e nas respostas fisiológicas das miniestacas. Este estudo avaliou os efeitos dessas telas sobre a produtividade e a qualidade morfofisiológica de miniestacas de três clones híbridos, dois de *Corymbia citriodora* × *C. torelliana* e um de *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis*, conduzidos em minijardins clonais ao longo de um ano. Ambientes sombreados reduziram o desenvolvimento morfológico (altura, área foliar, comprimento e diâmetro do entrenó), mas promoveram aumentos significativos na razão de área foliar (RAF) e nos teores de clorofilas e carotenoides, indicando aclimação à menor irradiância. O clone E1 (*Eucalyptus* spp.) apresentou maior plasticidade morfofisiológica, com destaque para RAF, acúmulo de clorofila b e carotenoides, além de superior produtividade em todos os ambientes avaliados. As telas de sombreamento também reduziram os teores de amido e antocianinas, com maior acúmulo deste último em clones de *Corymbia* spp. cultivados sob luz plena. Quanto à produtividade, as telas vermelha e preta mantiveram níveis próximos ao controle, enquanto a azul apresentou menor rendimento. Observou-se ainda variação sazonal, com maior produção no verão e redução no inverno. Neste último, as maiores produtividades foram registradas sob as telas vermelha e preta. Conclui-se que o uso de telas de sombreamento, especialmente a fotosseletivas vermelha e a preta convencional, permitem que clones de *Eucalyptus* spp. e de *Corymbia* spp. mantenham produtividade satisfatória mesmo em ambientes sombreados, configurando-se como uma estratégia eficiente para o manejo de minijardins clonais em viveiros florestais.

Palavras-chave: Silvicultura clonal; Propagação vegetativa; Miniestaquia.

PRODUCTIVITY AND QUALITY OF MINI-CUTTINGS OF HYBRID CLONES OF *Eucalyptus* SPP. AND OF *Corymbia* SPP. IN CLONAL MINI-GARDEN SUBJECTED TO DIFFERENT PHOTOSELECTIVE AND CONVENTIONAL SHADING NETS

ABSTRACT

Clonal mini-clonal hedge play a fundamental role in the production of mini-cuttings of *Eucalyptus* spp. and *Corymbia* spp., enabling greater environmental control and intensive management of mini-stumps. However, productivity can be significantly influenced by light intensity and quality. Photoselective (red and blue) and conventional (black) shade nets can modulate these light characteristics, affecting the morphological development and physiological responses of mini-cuttings. This study evaluated the effects of these nets on the productivity and morphophysiological quality of mini-cuttings from three hybrid clones, two of *Corymbia citriodora* × *C. torelliana* and one of *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis*, cultivated in mini-clonal hedge over the course of one year. Shaded environments reduced morphological development (height, leaf area, internode length, and diameter) but significantly increased the leaf area ratio (LAR) and chlorophyll and carotenoid contents, indicating acclimation to lower irradiance. Clone E1 (*Eucalyptus* spp.) showed greater morphophysiological plasticity, with higher LAR, chlorophyll b, and carotenoid accumulation, as well as superior productivity across all environments. Shade nets also reduced starch and anthocyanin contents, with higher anthocyanin accumulation observed in *Corymbia* spp. clones grown under full sunlight. In terms of productivity, red and black nets maintained levels similar to the control, while the blue net resulted in lower yields. Seasonal variation was also observed, with higher production in the summer and a reduction in the winter. In the latter, the highest productivities were recorded under the red and black shade nets. It is concluded that the use of shade nets, especially the red photoselective and conventional black types, allows clones of *Eucalyptus* spp. and of *Corymbia* spp. to maintain satisfactory productivity even under shaded conditions, representing an efficient strategy for the management of clonal mini-gardens in forest nurseries.

Keywords: Clonal forestry; Vegetative propagation; Mini-cutting.

1. INTRODUÇÃO

Em um ambiente de viveiro, os minijardins clonais desempenham papel fundamental na produção contínua de propágulos com alta qualidade e melhor juvenilidade. Isso ocorre devido ao maior controle das condições ambientais e à aplicação intensiva de tratamentos culturais nas minicepas, tais como manejo nutricional, hídrico e fitossanitário, além da realização frequente de podas, o que proporciona maior êxito no enraizamento das miniestacas (Alfenas *et al.*, 2009; Xavier *et al.*, 2021).

Entretanto, apesar dessas vantagens, condições ambientais como luz e temperatura ainda exercem influência significativa sobre a produtividade dos minijardins clonais. Variações sazonais ocasionam oscilações expressivas no número de miniestacas por minicepa, sendo observadas diferenças acentuadas entre o verão e o inverno, com reduções de até 50% durante os meses mais frios (Freitas, 2022).

Para mitigar tais oscilações e melhorar a produtividade, o uso de tecnologias como os estufins em minijardins clonais de eucalipto tem mostrado resultados promissores, proporcionando melhorias significativas nas condições microambientais, como temperatura, umidade e luminosidade (Lima *et al.*, 2022; Canguçu *et al.*, 2022; Vilasboa *et al.*, 2022).

Apesar dos avanços proporcionados por essas estruturas, são poucos os estudos que investigam o fator isolado do efeito da luz e de sua redução em minijardins clonais de *Eucalyptus* e *Corymbia*. Essa lacuna é relevante, considerando que a luz é um fator ambiental fundamental que influencia diretamente os processos fisiológicos e morfológicos das plantas, impactando seu crescimento, desenvolvimento e produtividade (Taiz *et al.*, 2022). A manipulação da intensidade e qualidade da luz pode resultar em alterações significativas na pigmentação foliar, na razão de área foliar, na produção de biomassa e na dinâmica de carboidratos (Miranda *et al.*, 2020; Formisano *et al.*, 2022; Souza *et al.*, 2024; Nardini *et al.*, 2025). Compreender essas respostas é essencial para otimizar as condições de cultivo e aprimorar a eficiência na produção de mudas clonais.

Uma das tecnologias disponíveis no mercado para essa finalidade são as telas de sombreamento fotosselativas, desenvolvidas para filtrar seletivamente e transmitir porções específicas da radiação fotossinteticamente ativa (RFA; 400–700 nm), faixa espectral fundamental para a realização da fotossíntese e para o crescimento das plantas (Manja; Aoun, 2019). Além de exercerem essa função essencial, essas telas de sombreamento coloridas também atuam como barreiras físicas protetoras contra a radiação solar e o aumento da

temperatura, ao mesmo tempo em que promovem modificações na composição espectral, absorvendo diferentes bandas espectrais, transformando a luz direta em luz difusa (Shahak, 2014; Manja; Aoun, 2019). Ou seja, elas alteram o espectro de luz e a intensidade que atinge as plantas (Zoratti *et al.*, 2015), visando promover respostas fotomorfogenéticas, fisiológicas, melhor aproveitamento da luz solar (Ilić; Fallik, 2017), proteção física (Sivakumar; Jifon, 2018) e redução de sintomas de fotoinibição (Mupambi *et al.*, 2018). Além disso, podem induzir diferentes respostas nas plantas, como maiores taxas de fotossíntese e condutância estomática (Zhou *et al.*, 2018), aumento do vigor vegetativo, nanismo, variação no tamanho das folhas, produtividade, melhor qualidade de frutos, controle de insetos-praga e de fungos patogênicos (Shahak, 2014; Abbasnia Zare *et al.*, 2019).

Considerando os desafios impostos pelas variações ambientais, especialmente no que diz respeito à luminosidade, o uso de telas fotosseletivas em ambientes de viveiro configura-se como uma estratégia eficaz para aprimorar as condições de cultivo em minijardins clonais. Essas estruturas aliam proteção física à capacidade de modular tanto a intensidade quanto a qualidade da luz, favorecendo um ambiente mais estável e adequado ao desenvolvimento das minicepas. Seu uso pode mitigar os efeitos das oscilações sazonais e, ao mesmo tempo, promover maior uniformidade, produtividade e qualidade na produção de miniestacas.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos das telas de sombreamento fotosseletivas (vermelha e azul) e da tela preta convencional sobre minicepas de clones de *Eucalyptus* e *Corymbia*, com foco na qualidade e na produtividade das miniestacas produzidas. Foram analisados aspectos morfológicos, como altura, diâmetro, comprimento dos entrenós, área foliar e razão de área foliar, além de características bioquímicas, como os teores de clorofila, antocianinas, carotenoides e amido. Também foi avaliada a produtividade ao longo das diferentes estações do ano.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no período entre janeiro e dezembro de 2024 no Viveiro de Pesquisas do Departamento de Engenharia Florestal (UFV), em Viçosa – MG, localizado na Zona da Mata mineira, situado nas coordenadas 20° 45' 45" S de latitude e 45° 52' 04" O de longitude, a uma altitude de 671 metros. Apresenta um clima quente e temperado do tipo Cwa, caracterizado por invernos frios e secos, além de verões chuvosos, conforme a categorização de Köppen-Geiger. Ao longo da condução do experimento, a temperatura média

anual observada foi de 22,37 °C, com médias de temperatura mínima e máxima de 17,44 °C e 27,31 °C, respectivamente. A precipitação anual acumulada foi de 1534 mm (INMET, 2025).

2.1. Minijardim clonal

O minijardim clonal (Figura 1) foi constituído por um canaletão de alvenaria, medindo 16,2 m de comprimento por 0,80 m de largura e 0,90 m de altura, revestido com plástico filme. O interior foi composto por uma camada de brita n.º 1, na parte inferior, e, na parte superior, por areia média. Entre a camada de brita e areia encontra-se uma tela de polietileno vasada. Este minijardim foi dividido em três partes iguais, cada uma com as dimensões de 5,0 m de comprimento por 0,8 m de largura.

Cada seção foi coberta com um tipo específico de tela, posicionada a 0,50 m de altura em relação à superfície da areia. Além disso, foi montado outro minijardim, com as mesmas dimensões, sem cobertura, sendo utilizado como controle.

Os minijardins clonais do presente trabalho encontram dentro de uma estufa coberta por teto fixo de filme plástico difusor Suntherm High Diff 75 (120 micras) com as laterais fechadas por tela antiafídeo Clarite®. Foram utilizadas duas telas de sombreamento fotosselativas, nas cores vermelha (ChromatiNet® Raschel) e azul (ChromatiNet® Leno), e uma tela preta convencional (Polysombra Plus®), destinadas à cobertura dos minijardins clonais. As telas foram fixadas em armações metálicas, assegurando a uniformidade da estrutura de sombreamento ao longo do experimento.

As médias máximas da RFA, registradas nos minijardins clonais em $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ durante o inverno e o verão, foram: padrão (sem cobertura) – 753,92 e 1072,25; sob tela vermelha – 390,72 e 558,63; sob tela azul – 429,79 e 611,60; sob tela preta – 470,62 e 671,58; e no ambiente externo – 1216,00 e 1718,25. As medições foram realizadas com sensor quântico LI-190 conectado ao data logger LI-1400 (LI-COR).

As minicepas plantadas foram produzidas pela técnica da miniestaquia com um espaçamento de plantio entre minicepas de $0,10 \times 0,10 \text{ m}$ ($100 \text{ minicepas} \cdot \text{m}^{-2}$). Trinta dias antes do plantio das minicepas, foi retirada a dominância apical das mudas para que as gemas axilares inferiores se desenvolvessem para formação de minicepas em formato de cálice, mantendo uma padronização de 10 a 12 cm de altura (Alfenas *et al.*, 2009).

O sistema de nutrição das minicepas foi realizado por meio de fertirrigação, utilizando quatro fitas de irrigação que dispunham de gotejadores espaçados a cada 20 cm com uma vazão

de $1,6 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$, sendo a solução nutritiva composta por: nitrato de cálcio ($920 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), cloreto de potássio ($240 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), fosfato monoamônio ($96 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), nitrato de potássio ($200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), sulfato de magnésio ($307 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), ferro quelato ($40 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), sulfato de zinco ($0,48 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), sulfato de manganês ($1,12 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), molibdato de sódio ($0,04 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), sulfato de cobre ($0,10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) e ácido bórico ($0,28 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$). Foi aplicada uma lâmina de solução nutritiva de $5,0 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ durante o inverno e $7 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ no verão (Alfenas *et al.*, 2009), distribuída em três aplicações diárias (às 8:00, 11:00 e 15:00 h), sendo sua aplicação feita de forma automática por meio de uma bomba periférica de 0,5 cv, controlada por um controlador coel BWT20. Um sistema de drenagem foi responsável pela coleta do efluente da solução nutritiva, e periodicamente foi avaliado a condutividade elétrica (CE) e o pH desse efluente. Esse procedimento foi realizado por meio de um condutivímetro/pHmetro portátil, visando monitorar e controlar a salinidade e o pH do minijardim. O objetivo é manter a condutividade elétrica entre $1,5$ e $2,0 \text{ mS cm}^{-1}$ e o pH entre 5,5 e 6,5.

Figura 1 – Minijardins clonais: **Figura 1A** – Minijardim clonal coberto com telas de sombreamento fotosseletiva vermelha e azul e tela preta convencional. **Figura 1B** – Minijardim padrão (sem cobertura). **Figura 1C** – Interior dos minijardins



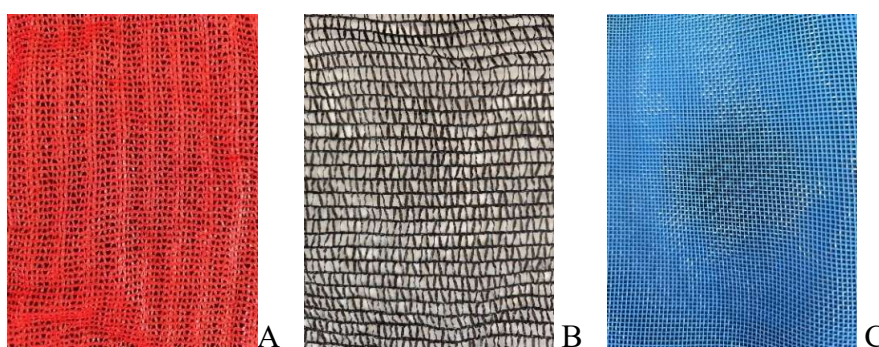
Fonte: O autor.

2.2. Telas de sombreamento fotosselativas e tela preta convencional

No presente estudo, foram utilizadas telas de sombreamento fotosselativas (vermelha e azul) e uma tela tradicional preta, todas com 50% de sombreamento (Figura 2). As telas de sombreamento fotosselativas são fabricadas com polipropileno entrelaçado ou polietileno tricotado, com dimensões específicas de fibras e furos para alcançar os níveis de sombra desejados (Ilić; Fallik, 2017; Sivakumar; Jifon, 2018). Durante sua fabricação, são adicionados vários produtos, como cromóforos e elementos reflexivos e dispersivos, permitindo que as redes selecionem bandas espectrais específicas da radiação solar como a vermelha e azul, e transformem a luz direta em difusa (Zoratti *et al.*, 2015). No entanto, a fração de luz que passa pelas frestas se mantém inalterada em sua qualidade (Ilić; Fallik, 2017).

Nesse contexto, as telas de sombreamento fotosselativas apresentam características distintas em função de suas cores. A tela vermelha (R) foi projetada para absorver a radiação ultravioleta (UV) (100–400 nm), azul (B) (420–460 nm) e verde (G) (495–570 nm), enquanto enriquece as regiões do vermelho (R) (640–680 nm) e do vermelho distante (FR) (690–750 nm). A tela azul (B), por sua vez, foi desenvolvida para absorver a radiação ultravioleta (UV) (100–400 nm), bem como as regiões espectrais do vermelho (R) (640–680 nm) e do vermelho distante (FR) (690–750 nm), enriquecendo a faixa espectral da luz azul (B) (420–460 nm) (Sivakumar; Jifon; Soundy, 2018). Em contraste, a tela preta convencional é completamente opaca, o que significa que não altera a qualidade espectral da radiação, apenas reduz a intensidade da luz, sem comprometer sua qualidade (Manja; Aoun, 2019). Dessa forma, foi utilizada como controle em relação ao sombreamento proporcionado pelas diferentes telas fotosselativas.

Figura 2 – Telas: **Figura 2A** – Tela de sombreamento fotosselativa vermelha (ChromatiNet® Raschel). **Figura 2B** – Tela preta convencional (Polysombra Plus®). **Figura 2C** – Tela de sombreamento fotosselativa azul (ChromatiNet® Leno)



Fonte: O autor.

2.3. Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial, com três repetições. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de quatro tipos de telas (vermelha, azul, preta e sem tela) com três clones: dois híbridos de *Corymbia citriodora* × *C. torelliana* e um híbrido de *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis*. A unidade experimental foi constituída por 16 minicepas.

2.4. Análises morfológicas

Foram realizadas avaliações das miniestacas produzidas sob os diferentes tipos de telas, contemplando as variáveis área foliar, razão de área foliar, altura da miniestaca, comprimento e diâmetro do entrenó. A amostragem para as análises foi dividida em duas semanas consecutivas. Na primeira semana, foram coletadas três miniestacas, contendo três pares de folhas cada, de cada uma das três repetições dos três clones sob os quatro tipos de tela. Esse mesmo processo foi repetido na semana seguinte, totalizando 18 amostras por clone em cada condição de tela.

2.4.1. Área foliar e razão de área foliar (RAF)

Foram coletadas miniestacas com três pares de folhas, e realizado o escaneamento destas através do aplicativo CamScanner. As seis folhas foram posicionadas ao lado de uma escala de 5 cm. Em seguida, a área foliar de cada folha foi medida pelo programa ImageJ, e os valores foram somados, totalizando a área foliar total, em cm², de cada miniestaca. A partir desse valor, foi calculada a razão de área foliar (RAF), por meio da seguinte fórmula:

$$RAF = \frac{\text{Área foliar total da miniestaca (cm}^2\text{)}}{\text{Massa seca total da miniestaca (g)}}$$

A massa seca foi obtida pela pesagem das miniestacas (folha + caule) após secagem em estufa a uma temperatura de 65 °C por 72 horas.

2.4.2. Altura da miniestaca, comprimento e diâmetro do entrenó

Foram coletadas miniestacas com três pares de folhas, medindo-se sua altura total e o comprimento do entrenó, em centímetros, com o auxílio de uma régua graduada (± 2 cm). O diâmetro foi medido em milímetros, utilizando um paquímetro. Para a medição do comprimento do entrenó e do diâmetro, foi considerado o segmento do caule entre o primeiro e o segundo par de folhas.

2.4.3. Produtividade do minijardim

Para avaliar a produtividade do minijardim, foi realizada a quantificação semanal de miniestacas apicais com comprimento entre 8 e 10 cm, durante o período de 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2024, a partir de minijardins já estabelecidos. As coletas foram realizadas a cada sete dias em cada unidade experimental.

2.5. Análises bioquímicas

Foram realizadas avaliações bioquímicas das folhas das miniestacas produzidas sob diferentes telas, incluindo o teor de clorofila a, b, carotenoides, antocianinas e amido. A amostragem foi dividida em duas semanas consecutivas. Na primeira semana, foram coletadas três miniestacas, cada uma com três pares de folhas, provenientes de cada uma das três repetições dos três clones nos quatro minijardins. As folhas foram separadas dos caules, formando grupos de seis folhas por miniestaca, que foram colocados em microtubos eppendorf e armazenados em nitrogênio líquido. Esse processo foi repetido na semana seguinte. Ao final, as folhas coletadas nas duas semanas foram agrupadas por repetição, e, a partir desse material, foram retiradas três amostras para análise, totalizando nove amostras por clone em cada tela.

2.5.1. Quantificação dos pigmentos e amido

Para a análise dos pigmentos fotossintéticos (clorofila a, clorofila b e carotenoides), 10 mg de material vegetal liofilizado foram inicialmente macerados, e a extração foi realizada com a adição de 600 μ L de MeOH 100% (metanol absoluto) em microtubos de 2 mL. Após agitação em vórtex e centrifugação, os sobrenadantes obtidos foram combinados e analisados em

microplaca de ELISA por espectrofotometria, com leitura nos comprimentos de onda de 470, 653 e 666 nm, conforme equações de Wellburn (1994), adaptado.

Na quantificação de antocianinas totais, 10 mg de material vegetal liofilizado foram pesados em microtubos de 2 mL e extraídos com 300 μ L de metanol acidificado (1% HCl, v/v). As amostras foram agitadas em vórtex por 20 segundos e mantidas sob agitação contínua, à temperatura ambiente e protegidas da luz por 24 horas (overnight). Após a adição de 200 μ L de água destilada e 500 μ L de clorofórmio, as amostras foram agitadas, centrifugadas a 14.000 g por 5 minutos, e a fase superior foi coletada. Uma alíquota de 200 μ L foi utilizada para leitura espectrofotométrica em microplaca de ELISA.

A quantificação do amido foi realizada por método enzimático acoplado, envolvendo a degradação do polissacarídeo por α -amilase e amiloglucosidase. A glicose liberada foi quantificada com base na formação de NADPH, por reações catalisadas por hexoquinase e glicose-6-fosfato desidrogenase, com leitura espectrofotométrica da variação de absorbância (Δ OD) a 340 nm.

2.6. Análises estatísticas

Os dados foram analisados estatisticamente por meio da análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%, utilizando o pacote Exp. Des. pt (Ferreira; Cavalcanti; Nogueira, 2014) do software R (R Development Core Team, 2025).

3. RESULTADOS

3.1. Características morfológicas

As telas de sombreamento e os clones não apresentaram interação significativa ($p > 0,05$) para as características morfológicas avaliadas (Tabelas 1 e 2), exceto para razão de área foliar (Tabela 3). Em relação às características morfológicas, a área foliar e o diâmetro do entrenó foram estatisticamente semelhantes entre os clones estudados (Tabela 1). Por outro lado, para altura da miniestaca e comprimento do entrenó, o clone C2 e C1 apresentaram menores valores, respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1 – Área foliar (cm²), altura (cm), comprimento do entrenó (cm) e diâmetro do entrenó (mm) das miniestacas de clones híbridos de *Corymbia* spp. (C1 e C2) e *Eucalyptus* spp. (E1) produzidas sob diferentes telas de sombreamento fotosseletivas e tela preta convencional

Clone	Área foliar	Altura	Entrenó	Diâmetro
C1	25,21 A	9,32 A	2,64 C	0,78 A
C2	27,31 A	8,39 B	2,13 B	0,82 A
E1	26,36 A	9,09 A	3,11 A	0,81 A

Nota: Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Ao analisar o efeito das telas de sombreamento, verificou-se que as miniestacas produzidas no padrão (minijardim sem cobertura) apresentaram os maiores valores de área foliar (33,61 cm²), altura (10,14 cm), comprimento do entrenó (3,13 cm) e diâmetro do entrenó (0,97 mm), em comparação às produzidas sob as telas azul, preta e vermelha (Tabela 2). Essas três telas reduziram de forma semelhante todas as características morfológicas avaliadas, sem diferenças significativas entre si.

Tabela 2 – Área foliar (cm²), altura (cm), comprimento do entrenó (cm) e diâmetro do entrenó (mm) das miniestacas de clones híbridos de *Corymbia* spp. (C1 e C2) e *Eucalyptus* spp. (E1) produzidas sob diferentes telas de sombreamento fotosseletivas e tela preta convencional

Tela	Área foliar	Altura	Entrenó	Diâmetro
Padrão	33,61 A	10,14 A	3,13 A	0,97 A
Azul	24,93 B	8,29 B	2,42 B	0,76 B
Preta	23,30 B	8,71 B	2,47 B	0,78 B
Vermelha	23,34 B	8,59 B	2,48 B	0,72 B

Nota: Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Ao analisar o efeito dos clones dentro de cada tipo de tela, observa-se que, no padrão (minijardim sem cobertura) e nas telas azul e vermelha, o clone E1 apresentou maior razão de área foliar (RAF) em relação aos clones C1 e C2, que não apresentaram diferenças significativas entre si. Já para tela preta, o E1 apresentou o maior valor de RAF (294,35 cm²·g⁻¹), seguido por C1 (194,53 cm²·g⁻¹), que foi superior a C2 (168,33 cm²·g⁻¹) (Tabela 3).

Considerando o efeito das telas dentro de cada clone, verifica-se que, de modo geral, as telas azul, preta e vermelha proporcionaram valores de RAF significativamente maiores do que o padrão (minijardim sem cobertura) (Tabela 3). O clone E1 apresentou valores de RAF superiores aos clones C1 e C2 em todas as condições testadas. Embora C1 e C2 tenham apresentado valores mais baixos em relação ao E1, ambos demonstraram aumento significativo de RAF nas três telas de sombreamento em comparação ao padrão (minijardim sem cobertura).

Tabela 3 – Razão de área foliar (RAF, $\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$) das miniestacas de clones híbridos de *Corymbia* spp. (C1 e C2) e *Eucalyptus* spp. (E1) produzidas sob diferentes telas de sombreamento fotosselativas e tela preta convencional

Telas	Clones		
	C1	C2	E1
Padrão	159,11 Bb	143,12 Bb	212,55 Ac
Azul	204,37 Ba	184,44 Ba	269,12 Ab
Preta	194,53 Ba	168,33 Ca	294,35 Aa
Vermelha	199,43 Ba	180,28 Ba	287,93 Aab

Nota: Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha (Clone) e minúscula na coluna (Tela), não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

3.2. Características bioquímicas

As telas de sombreamento e os clones não apresentaram interação significativa ($p > 0,05$) para as características bioquímicas avaliadas (Tabelas 4 e 5), exceto para razão de clorofila a/b e teor de antocianinas nas folhas (Tabela 6). De forma geral, os clones não se diferiram nos teores de clorofila a, clorofila total (a + b) e amido (Tabela 4). O clone E1 destacou-se pelo maior acúmulo de clorofila b ($1,40 \mu\text{g} \cdot \text{mg}^{-1}$) e carotenoides ($0,72 \mu\text{g} \cdot \text{mg}^{-1}$), diferenciando-se dos demais.

Tabela 4 – Teores de clorofila a, clorofila b, carotenoides ($\mu\text{g} \cdot \text{mg}^{-1}$ MS) e de amido ($\mu\text{mol eq. Glc} \cdot \text{mg}^{-1}$ MS) das folhas de miniestacas de clones híbridos de *Corymbia* spp. (C1 e C2) e *Eucalyptus* spp. (E1) produzidas sob diferentes telas de sombreamento fotosselativas e tela preta convencional

Clone	clorofila a	clorofila b	clorofila a+b	carotenoides	amido
C1	2,37 A	1,29 B	3,66 A	0,64 B	3,58 A
C2	2,17 A	1,21 B	3,38 A	0,62 B	4,00 A
E1	2,33 A	1,40 A	3,73 A	0,72 A	4,55 A

Nota: Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Na comparação entre o padrão (minijardim sem cobertura) e as telas, os teores de clorofila e carotenoides foram significativamente maiores nos ambientes com telas azul, preta e vermelha em relação ao ambiente sem cobertura (Tabela 5). Em contraste, o teor de amido foi significativamente maior no ambiente sem cobertura ($5,52 \mu\text{mol eq. Glc} \cdot \text{mg}^{-1}$) e apresentou redução em todas as telas de sombreamento, atingindo o menor valor sob a tela vermelha ($3,16 \mu\text{mol eq. Glc} \cdot \text{mg}^{-1}$), sem diferenças estatísticas entre as telas.

Tabela 5 – Teores de clorofila a, clorofila b, carotenoides ($\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$ MS) e de amido ($\mu\text{mol eq. Glc}\cdot\text{mg}^{-1}$ MS) das folhas de miniestacas de clones híbridos de *Corymbia* spp. (C1 e C2) e *Eucalyptus* spp. (E1) produzidas sob diferentes telas de sombreamento fotosselativas e tela preta convencional

Tela	clorofila a	clorofila b	clorofila a+b	carotenoides	amido
Padrão	2,00 B	1,10 B	3,11 B	0,58 B	5,52 A
Azul	2,34 A	1,34 A	3,68 A	0,68 A	3,81 B
Preta	2,44 A	1,38 A	3,82 A	0,71 A	3,67 B
Vermelha	2,38 A	1,37 A	3,75 A	0,69 A	3,16 B

Nota: Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Na análise dos clones dentro de cada tela, a razão clorofila a/b foi menor no clone E1 para todos os ambientes avaliados e somente a tela azul apresentou diferença significativa entre os clones C1 e C2 (Tabela 6). Comparando agora entre telas dentro de cada clone, observa-se que, para o clone C1, a tela vermelha reduziu significativamente a razão clorofila a/b (1,78) em relação à azul (1,88) e ao padrão (1,86), sem diferença em relação à tela preta (1,83). No clone C2, houve redução progressiva da razão entre os ambientes: padrão (1,88), preta (1,82), azul (1,77) e vermelha (1,75), com o menor valor sob a tela vermelha. Para o clone E1, a razão clorofila a/b foi significativamente maior no padrão (1,73) em relação a todas as telas — azul (1,62), preta (1,67) e vermelha (1,65), que não diferiram entre si.

De forma geral, a razão clorofila a/b foi consistentemente menor no clone E1 em todos os ambientes, enquanto C1 e C2 apresentaram valores mais elevados na maioria dos ambientes em relação ao E1 (Tabela 6). No clone C1, o menor valor foi registrado sob a tela vermelha, com redução significativa em relação à tela azul e ao padrão. O clone C2 demonstrou redução progressiva e significativa da razão entre os ambientes, sendo o menor valor observado na tela vermelha. Já o clone E1 apresentou valores reduzidos em todos os ambientes com tela, diferindo significativamente apenas em relação ao ambiente sem cobertura. Sendo assim, o ambiente sombreado reduziu a razão clorofila a/b nos três clones.

Para a análise do teor de antocianinas na comparação entre clones dentro de cada tela (Tabela 6), houve diferença significativa no padrão (minijardim sem cobertura), em que os clones C1 ($0,95 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$) e C2 ($1,01 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$) apresentaram teores estatisticamente iguais entre si, mas significativamente superior ao clone E1 ($0,66 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$). Na tela azul, o clone C2 apresentou o maior teor ($1,17 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$), C1 foi intermediário ($0,69 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$) e E1 teve o menor valor ($0,37 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$). Na tela preta, também houve diferença significativa: C2 apresentou o maior valor ($0,79 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$), E1 o menor ($0,51 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$), e C1 foi estatisticamente intermediário

(0,67 mg·g⁻¹), não diferindo dos demais. Na tela vermelha, E1 novamente foi inferior (0,41 mg·g⁻¹), enquanto C1 (0,73 mg·g⁻¹) e C2 (0,88 mg·g⁻¹) não diferiram entre si.

Na comparação entre telas dentro de cada clone (Tabela 6), para o clone C1 o teor de antocianinas foi significativamente maior no padrão (0,95 mg·g⁻¹) em relação às demais telas — azul (0,69 mg·g⁻¹), preta (0,67 mg·g⁻¹) e vermelha (0,73 mg·g⁻¹) —, que não diferiram entre si. Para o clone C2, o maior valor foi observado na tela azul (1,17 mg·g⁻¹), que diferiu estatisticamente da vermelha (0,88 mg·g⁻¹) e da preta (0,79 mg·g⁻¹). O valor do padrão (1,01 mg·g⁻¹) foi intermediário, sem diferença significativa em relação à azul (1,17 mg·g⁻¹) nem à vermelha (0,88 mg·g⁻¹). A tela preta (0,79 mg·g⁻¹) apresentou o menor valor, diferindo de todas as demais, exceto da vermelha (0,88 mg·g⁻¹). Para o clone E1, o ambiente sem cobertura apresentou maior teor de antocianinas (0,66 mg·g⁻¹) em comparação às telas vermelha (0,41 mg·g⁻¹) e azul (0,37 mg·g⁻¹). A tela preta (0,51 mg·g⁻¹) foi estatisticamente intermediária, não diferindo do padrão (0,66 mg·g⁻¹) nem das demais telas. As telas vermelha (0,41 mg·g⁻¹) e azul (0,37 mg·g⁻¹) não diferiram entre si e apresentaram os menores valores.

O teor de antocianinas variou significativamente entre clones e ambientes. O clone E1 apresentou os menores valores em todas as condições, especialmente sob as telas vermelha e azul (Tabela 6). O clone C1 teve maior acúmulo no ambiente sem cobertura, enquanto C2 apresentou o maior teor sob a tela azul. O sombreamento reduziu o acúmulo de antocianinas nos três clones, com destaque para a tela preta, que resultou nos menores valores para C1 e C2 (Tabela 6).

Tabela 6 – Razão clorofila a/b e teor de antocianinas (mg·g⁻¹ MS) das folhas de miniestacas de clones híbridos de *Corymbia* spp. (C1 e C2) e *Eucalyptus* spp. (E1) produzidas sob diferentes telas de sombreamento fotosseletivas e tela preta convencional

Telas	Clones					
	Clorofila a/b			Antocianina		
	C1	C2	E1	C1	C2	E1
Padrão	1,86 Aa	1,88 Aa	1,73 Ba	0,95 Aa	1,01 Aab	0,66 Ba
Azul	1,88 Aa	1,77 Bbc	1,62 Cb	0,69 Bb	1,17 Aa	0,37 Cb
Preta	1,83 Aab	1,82 Ab	1,67 Bb	0,67 ABb	0,79 Ac	0,51 Bab
Vermelha	1,78 Ab	1,75 Ac	1,65 Bb	0,73 Ab	0,88 Abc	0,41 Bb

Nota: Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha (Clone) e minúscula na coluna (Tela), não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

3.3. Produtividade dos minijardins clonais

Na análise de variância, não foi observada interação significativa ($p > 0,05$) entre as telas de sombreamento, os clones e a época do ano sobre a produtividade das minicepas. Interações significativas ($p < 0,05$) foram identificadas apenas entre telas e clones (Tabela 7) e entre telas e época do ano (Tabela 8).

Na análise dos clones dentro de cada ambiente de sombreamento (Tabela 7), o clone E1 apresentou a maior produtividade de miniestacas em todas as condições avaliadas. Por outro lado, a tela azul foi associada à menor produtividade para os clones C1 e E1. Para o clone C2, não houve diferenças significativas entre os ambientes.

Tabela 7 – Produtividade (número de miniestacas/minicepa/mês) de clones híbridos de *Corymbia* spp. (C1 e C2) e *Eucalyptus* spp. (E1) sob diferentes telas de sombreamento fotosseletivas e tela preta convencional

Telas	Clones		
	C1	C2	E1
Padrão	7,71 Bab	5,97 Ca	10,45 Aa
Azul	7,28 Bb	5,35 Ca	8,27 Ac
Preta	8,30 Ba	6,18 Ca	9,78 Ab
Vermelha	8,34 Ba	5,67 Ca	9,31 Ab

Nota: Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha (Clone) e minúscula na coluna (Tela), não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Em relação à influência da época do ano em cada ambiente de sombreamento (Tabela 8), o verão proporcionou os maiores valores de produtividade de miniestacas sob as telas vermelha e preta. No minijardim sem cobertura, os maiores rendimentos foram observados na primavera e no verão, enquanto sob a tela azul, destacaram-se o verão e o outono. O outono foi a única estação em que não houve diferença significativa de produtividade entre os ambientes de sombreamento, contrastando com os resultados da primavera e do verão, nos quais a menor produtividade foi registrada sob a tela azul. No inverno, as maiores produtividades ocorreram nos ambientes com telas vermelha e preta.

Tabela 8 – Produtividade (miniestacas/minicepa/mês) de clones híbridos de *Corymbia* spp. (C1 e C2) e *Eucalyptus* spp. (E1) sob diferentes telas de sombreamento fotosseletivas e tela preta convencional em diferentes épocas do ano

Telas	Época			
	Outono	Inverno	Primavera	Verão
Padrão	8,23 Ba	5,66 Cb	9,28 Aa	9,44 Aa
Azul	7,48 ABa	5,88 Cab	6,75 Bc	7,75 Ab
Preta	8,41 Ba	6,61 Ca	7,86 Bb	9,00 Aa
Vermelha	7,88 Ba	6,68 Ca	7,85 Bb	8,67 Aa

Nota: Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha (Época) e minúscula na coluna (Tela), não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

4. DISCUSSÃO

4.1. Morfologia

Os resultados deste estudo evidenciaram que as características morfológicas das miniestacas de clones híbridos de *Corymbia* spp. (C1 e C2) e de *Eucalyptus* spp. (E1) foram influenciadas pela intensidade luminosa, determinada pelo uso das diferentes telas de sombreamento. O ambiente sem cobertura (padrão) proporcionou valores significativamente maiores de área foliar, altura, comprimento e diâmetro do entrenó quando comparado às telas azul, preta e vermelha. Esse comportamento ocorre porque, sob maior irradiância, as plantas apresentam maior atividade fotossintética e melhor desenvolvimento vegetativo (Poorter *et al.*, 2019; Taiz *et al.*, 2022), típico de plantas cultivadas em pleno sol.

A redução das variáveis morfológicas observada sob as telas, independentemente da cor, sugere que a diminuição da intensidade luminosa e, conseqüentemente, da RFA, impõe limites ao crescimento em altura e à expansão da área foliar. De fato, estudos anteriores com diferentes espécies indicam que plantas submetidas a maior grau de sombreamento podem apresentar menor desenvolvimento estrutural devido à redução da taxa fotossintética, resultando em menor acúmulo de biomassa (Baliza *et al.*, 2012; Araki; Oo; Kubota, 2014; Umesh *et al.*, 2023). Por outro lado, alguns trabalhos relatam respostas morfológicas positivas sob telas de sombreamento, com melhor desempenho vegetativo em determinadas espécies (Henrique *et al.*, 2011; Nascimento *et al.*, 2014; Felseburgh *et al.*, 2016; Formisano *et al.*, 2022).

Em contraste com as demais variáveis morfológicas, a razão de área foliar (RAF), aumentou significativamente em todos os tratamentos com telas em comparação ao ambiente sem cobertura. Esse aumento é uma resposta adaptativa comum em plantas submetidas a

ambientes de baixa luminosidade, pois permite uma maior eficiência na interceptação da luz por unidade de biomassa vegetal investida (Poorter *et al.*, 2019). Resultados semelhantes foram obtidos por Endres *et al.* (2010), Henrique *et al.*, (2011) e Formisano *et al.* (2022), ao avaliarem outras espécies vegetais sob condições de sombreamento.

Nesse contexto de adaptação, o clone E1 (*Eucalyptus* spp.) destacou-se, apresentando valores mais elevados de RAF em todos os tratamentos. Esse achado sugere que *Eucalyptus* spp. possui uma maior plasticidade foliar em condições de limitação luminosa, quando comparado aos clones de *Corymbia* spp.

Ademais, o fato da tela preta, que não altera o espectro da luz incidente, ter promovido valores de RAF semelhantes aos das telas vermelha e azul, reforça que a resposta observada foi causada principalmente pela intensidade luminosa reduzida, e não pela qualidade espectral da luz. Isso sugere que a adaptação morfológica é uma resposta direta à limitação da quantidade de luz incidente, e não a alterações na composição espectral promovida por telas coloridas.

4.2. Bioquímica

As telas de sombreamento elevaram significativamente os teores de clorofila a, clorofila b e carotenoides das miniestacas, independentemente da cor, em relação ao ambiente sem cobertura, como encontrado por (Ilić *et al.*, 2015; Almeida, 2017; Formisano *et al.*, 2022) em diferentes espécies. Essa resposta é uma estratégia adaptativa das plantas para otimizar a absorção de luz em condições de baixa irradiância, aumentando a concentração de pigmentos fotossintéticos e ajustando a composição dos fotossistemas (Valladares; Niinemets, 2008; Taiz *et al.*, 2022)

Notavelmente, o clone E1 destacou-se por apresentar maiores níveis de clorofila b e carotenoides. O aumento da clorofila b em relação à clorofila a, observado em ambientes sombreados, levou à redução da razão clorofila a/b. Esse aumento na produção de clorofila b está associado a uma maior capacidade de absorção de luz e eficiência fotossintética em condições de baixa luminosidade (Taiz *et al.*, 2022; Khan *et al.*, 2023), visto que a clorofila b é importante para aumentar a coleta de luz, especialmente sob condições de baixa luminosidade (Biswal *et al.*, 2012; Wang *et al.*, 2024).

O ambiente sombreado também reduziu significativamente os níveis de amido, sugerindo uma menor taxa de fotossíntese sob telas, já que a síntese desse carboidrato está diretamente associada à disponibilidade luminosa e à fotossíntese líquida (Taiz *et al.*, 2022).

Estudos observaram uma redução do conteúdo de amido com o sombreamento em diferentes espécies (Liu *et al.*, 2020; Jing *et al.*, 2023), mas também foi observado com o uso de telas preta e vermelha um aumento no teor de amido (Henrique *et al.*, 2011).

Os teores de antocianinas foram, de modo geral, mais elevados nas miniestacas cultivadas em ambiente sem cobertura, com destaque para os clones de *Corymbia* spp. (C1 e C2). Esse resultado está em consonância com a literatura, que aponta a radiação solar intensa como um dos principais estímulos à biossíntese de antocianinas (Taiz *et al.*, 2022). Esses pigmentos atuam como fotoprotetores ao absorverem o excesso de luz visível e radiação UV (Ma *et al.*, 2021), além de contribuírem para a eliminação de espécies reativas de oxigênio (ROS) e atuarem como antioxidantes (Li; Ahammed, 2023).

Vale destacar que o clone C2 manteve elevados teores de antocianinas mesmo sob a tela azul, comportamento não observado em C1 ou E1. Esse padrão pode ser atribuído à qualidade espectral da luz transmitida por essa cobertura, a qual permite maior passagem de radiação na faixa do azul. A luz azul ativa criptocromos, fotorreceptores cuja função inclui a estimulação da biossíntese de antocianinas (Taiz *et al.*, 2022). Estudos demonstram que a irradiação com luz azul induz o acúmulo de antocianinas em diversas espécies vegetais (Shao *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2022; Zhou *et al.*, 2024), sugerindo que o clone C2 pode apresentar maior sensibilidade genética a esse comprimento de onda, mesmo sob níveis moderados de irradiância.

A redução da produção de antocianinas em ambientes sombreados pode ser explicada pela menor incidência de luz azul e UV-B, faixas do espectro que ativam os fotorreceptores criptocromos e UVR8, essenciais para desencadear respostas para a biossíntese das antocianinas (Ma *et al.*, 2021; Taiz *et al.*, 2022). Além disso, intensidades luminosas elevadas promovem a geração de espécies reativas de oxigênio (ROS), que atuam como moléculas sinalizadoras essenciais no processo de ativação da biossíntese de antocianinas (Zhu *et al.*, 2024). Nesse sentido, a produção de ROS provavelmente foi reduzida nos ambientes sombreados, contribuindo para a menor síntese de antocianinas.

4.3. Produtividade

Ao longo do experimento, totalizaram-se 53.062 miniestacas coletadas. Conforme detalhado nas Tabelas 7 e 8, a produtividade foi significativamente afetada pela interação entre os diferentes tipos de tela de sombreamento, os clones avaliados e as variações sazonais. Tal produtividade alinha-se com os relatos por Xavier *et al.* (2021), que descreveram uma faixa

de 8.000 a 15.000 miniestacas/m²/ano para minijardins clonais de eucalipto. De forma semelhante, Freitas *et al.* (2017) encontraram valores de 7,7 a 8,9 miniestacas/minicepa/mês para o clone 1213 (*Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*) e de 5,7 a 8,6 para *Eucalyptus globulus*. Mais recentemente, Pase (2024) reportou uma média de 10 miniestacas/minicepa/mês para clones de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus*. Alfenas *et al.* (2009) também apresentaram resultados que corroboram essa faixa de produtividade.

O clone E1 destacou-se por apresentar maior produtividade em todas as condições avaliadas, demonstrando maior vigor e capacidade de emissão contínua de brotações em comparação aos clones C1 e C2. Ressalta-se, contudo, que esses clones são híbridos provenientes de espécies distintas, o que pode explicar parte das diferenças observadas.

Ainda assim, o clone C1 apresentou produtividade plausível sob as telas vermelha e preta, provavelmente em função dos efeitos positivos do sombreamento moderado proporcionado por essas coberturas, que podem ter favorecido o microclima e a atividade vegetativa, visto que as telas aumentam a proteção contra o excesso de radiação solar (Shahak, 2014; Manja; Aoun, 2019) e reduz sintomas de fotoinibição (Mupambi *et al.*, 2018). Embora as telas apresentem qualidades espectrais distintas, os resultados observados foram atribuídos principalmente ao sombreamento, uma vez que os efeitos positivos também foram evidentes sob a tela preta, que não promove alterações na qualidade espectral nem difusão da luz (Manja; Aoun, 2019).

Segundo Taiz *et al.* (2022), plantas desenvolvidas sob menor intensidade luminosa saturam a fotossíntese com densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (PPFD) consideravelmente reduzida, demonstrando que as condições de crescimento afetam as características fotossintéticas foliares. Isso pode explicar a manutenção da produtividade mesmo em condições de luz reduzida, como as encontradas sob as telas de sombreamento. De fato, os valores médios de RFA registrados nessas condições foram inferiores.

Sazonalmente, a produtividade foi superior no verão, possivelmente devido às temperaturas mais altas e maior intensidade luminosa. No inverno, houve queda acentuada na produtividade, especialmente em ambientes sem cobertura, o que pode estar relacionado à menor radiação solar, temperaturas reduzidas e ao aumento da incidência causada pelo fungo *Oidium eucalypti* (Alfenas *et al.*, 2009). Visualmente, constatou-se uma menor presença do patógeno em ambientes cobertos por telas de sombreamento, que atuam como barreira física (Shahak, 2014), dificultando a entrada do patógeno. Além disso, a produtividade no inverno foi superior nos ambientes com cobertura, possivelmente em decorrência do aumento da

temperatura promovido por essas estruturas. Esse efeito térmico foi evidenciado por Mohawesh *et al.* (2022), que relataram elevação da temperatura do ar sob telas de sombreamento vermelhas.

A redução da intensidade luminosa sob as telas reduz a RFA, afetando a taxa de fotossíntese. Entretanto, mesmo com valores menores da RFA, as plantas podem ajustar sua eficiência fotossintética por aclimatação, mantendo a produtividade em níveis satisfatórios (Retkute *et al.*, 2015; Taiz *et al.*, 2022). A produtividade inferior sob a tela azul pode indicar que a aclimatação fisiológica foi insuficiente para compensar os efeitos negativos da qualidade espectral dessa luz.

Embora a redução da intensidade luminosa sob as telas tenha limitado aspectos do desenvolvimento morfológico, como área foliar, altura, diâmetro do coleto e teor de amido, indicativo de menor acúmulo de biomassa por miniestaca, a produtividade em número de miniestacas, de forma geral, manteve-se estável, sem grandes perdas, sendo até favorecida em alguns períodos, como no inverno. Isso sugere que a capacidade de brotação contínua das minicepas, principal determinante da produtividade, não foi inibida pelo sombreamento moderado. As plantas demonstraram uma eficiente adaptação ao ambiente sombreado, ajustando a arquitetura foliar com aumento da razão de área foliar e o conteúdo de clorofilas, o que favoreceu a captação de luz sob menor irradiação, mantendo uma taxa fotossintética compatível com a emissão regular de brotos. Além disso, os níveis de RFA sob as telas, embora inferiores aos do ambiente sem cobertura, foram suficientes para sustentar esse desempenho, evidenciando a capacidade adaptativa das plantas ao sombreamento moderado.

5. CONCLUSÕES

Os resultados morfológicos demonstraram que o ambiente sem cobertura favoreceu maior desenvolvimento em área foliar, altura, comprimento e diâmetro do entrenó, indicando maior atividade fotossintética sob luz plena. As telas de sombreamento reduziram essas variáveis, mas induziram aumento adaptativo na razão de área foliar (RAF), otimizando a interceptação luminosa. O clone E1 (híbrido de *Eucalyptus* spp.) destacou-se pela plasticidade foliar, com os maiores valores de RAF, sendo a intensidade luminosa (não a qualidade espectral) o fator determinante nessas respostas.

Bioquimicamente, o sombreamento elevou os teores de clorofila a, b e carotenoides, estratégia para maximizar a absorção de luz em baixa irradiância. O clone E1 apresentou os maiores níveis de clorofila b e carotenoides, indicando maior eficiência na captação luminosa

em condições sombreadas. A redução de amido sob telas sugeriu menor atividade fotossintética, enquanto antocianinas foram mais abundantes em plena luz, especialmente nos clones C1 e C2 (híbridos de *Corymbia* spp.), atuando como fotoprotetores.

Quanto à produtividade, o clone E1 manteve desempenho superior em todas as condições. A redução da RFA sob telas limitou alguns parâmetros morfológicos, mas não comprometeu significativamente a produção de miniestacas, evidenciando a capacidade de aclimação das minicepas para sustentar a brotação contínua. Conclui-se que os clones de *Eucalyptus* spp. e de *Corymbia* spp. avaliados podem manter produtividade adequada mesmo em ambientes sombreados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBASNIA ZARE, S. K.; SEDAGHATHOOR, S.; PADASHT DAHKAELI, M. N.; HASHEMABADI, D. The effect of light variations by photoselective shade nets on pigments, antioxidant capacity, and growth of two ornamental plant species: Marigold (*Calendula officinalis* L.) and violet (*Viola tricolor*). **Cogent Food & Agriculture**, v. 5, n. 1, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1650415>. Acesso em: 30 abr. 2025.

ALFENAS, A. C.; ZAUZA E. A. V.; MAFIA, G. R.; ASSIS, T. F. **Clonagem e doenças do eucalipto**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2009.

ALMEIDA, J. M. de. **Avaliação de três variedades de *lisianthus* em ambiente protegido com telas de sombreamento de diferentes espectros de cor**. 2017. 52 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.11.2017.tde-09102017-170006>. Acesso em: 20 mai. 2025.

ARAKI, T.; OO, T. T.; KUBOTA, F. Effects of shading on growth and photosynthetic potential of greengram (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) cultivars. **Environmental Control in Biology**, v. 52, n. 4, p. 227-231, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.2525/ecb.52.227>. Acesso em: 6 jun. 2025.

BALIZA, D. P.; CUNHA, R. L.; CASTRO, E. M.; BARBOSA, J. P. R. A. D.; PIRES, M. F.; GOMES, R. A. Trocas gasosas e características estruturais adaptativas de cafeeiros cultivados em diferentes níveis de radiação. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 3, p. 250-258, 2012. Disponível em: <https://sbicafe.ufv.br/items/dab68a4e-bb10-42e1-9422-d3bc059a08e9>. Acesso em: 6 jun. 2025.

BISWAL, A. K.; PATTANAYAK, G. K.; PANDEY, S. S.; LEELAVATHI, S.; REDDY, V. S.; GOVINDJEE; TRIPATHY, B. C. Light intensity-dependent modulation of chlorophyll b biosynthesis and photosynthesis by overexpression of chlorophyllide a oxygenase in tobacco. **Plant Physiology**, v. 159, n. 1, p. 433-449, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.112.195859>. Acesso em: 21 mai. 2025.

CANGUÇU, V. de S.; TITON, M.; MARAVILHA SILVA, L. F.; ALVES PENA, C. A.; DE ASSIS JÚNIOR, S. L.; RODRIGUES DOS SANTOS, P. H.; ROMARCO DE OLIVEIRA, M. L. Mini-tunnel models influence the productivity of *eucalyptus* mini-stumps? **Bosque (Valdivia)**, v. 43, n. 3, p. 211-219, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002022000300211>. Acesso em: 30 abr. 2025.

ENDRES, L.; CÂMARA, C. A.; FERREIRA, V. M.; SILVA, J. V. Morphological and photosynthetic alterations in the Yellow-ipe, *Tabebuia chrysotricha* (Mart. Ex DC.) Standl., under nursery shading and gas exchange after being transferred to full sunlight. **Agroforestry Systems**, v. 78, n. 3, p. 287-298, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10457-009-9235-9>. Acesso em: 7 jun. 2025.

FELSEMBURGH, C. A. A.; SANTOS, K. J. dos; CAMARGO, P. B. de; CARMO, J. B. do; TRIBUZY, E. S. Respostas ecofisiológicas de *Aniba parviflora* ao sombreamento. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 36, n. 87, p. 201-210, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.4336/2016.pfb.36.87.964>. Acesso em: 6 jun. 2025.

FERREIRA, E.; CAVALCANTI, P.; NOGUEIRA, D. ExpDes: an R package for ANOVA and experimental designs. **Applied Mathematics**, v. 5, p. 2952-2958, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4236/am.2014.519280>. Acesso em: 16 jul. 2025.

FORMISANO, L.; MIRAS-MORENO, B.; CIRIELLO, M.; ZHANG, L.; DE PASCALE, S.; LUCINI, L.; ROUPHAEL, Y. Between light and shading: morphological, biochemical, and metabolomics insights into the influence of blue photoselective shading on vegetable seedlings. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 890830, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.890830>. Acesso em: 30 abr. 2025.

FREITAS, A. F. de. **Otimização da produção de mudas por miniestaquia de *Cariniana legalis*, *Cariniana estrellensis*, *Cordia alliodora* e *Cordia trichotoma***. 2022. 106 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2022. Disponível em: <https://locus.ufv.br/handle/123456789/31563>. Acesso em: 15 abr. 2025.

FREITAS, A. F.; PAIVA, H. N.; XAVIER, A.; NEVES, J. C. L. Produtividade de minicepas e enraizamento de miniestacas de híbridos de *Eucalyptus globulus* Labill. em resposta a nitrogênio. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 1, p. 193-202, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509826458>. Acesso em: 21 mai. 2025.

HENRIQUE, P. C.; ALVES, J. D.; DEUNER, S.; GOULART, P. F. P.; LIVRAMENTO, D. E. Physiological aspects of seedling development of coffee grown under colored screens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 5, p. 458-465, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011000500002>. Acesso em: 21 mai. 2025.

ILIĆ, Z. S.; FALLIK, E. Light quality manipulation improves vegetable quality at harvest and postharvest: A review. **Environmental and Experimental Botany**, v. 139, p. 79-90, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.04.006>. Acesso em: 30 abr. 2025.

ILIĆ, Z. S.; MILENKOVIĆ, L.; ŠUNIĆ, L.; FALLIK, E. Effect of coloured shade-nets on plant leaf parameters and tomato fruit quality. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, n. 13, p. 2660-2667, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jsfa.7000>. Acesso em: 20 mai. 2025.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas** – Período: 01 jan. 2024 a 31 dez. 2024. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 24 jun. 2025.

JING, X.; CHEN, P.; JIN, X.; LEI, J.; WANG, L.; CHAI, S.; YANG, X. Physiological, photosynthetic, and transcriptomics insights into the influence of shading on leafy sweet potato. **Genes**, v. 14, n. 12, p. 2112, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/genes14122112>. Acesso em: 21 mai. 2025.

KHAN, I.; ZADA, A.; JIA, T.; HU, X. Effect of the enhanced production of chlorophyll b on the light acclimation of tomato. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 4, p. 3377, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms24043377>. Acesso em: 21 mai. 2025.

LI, Z.; AHAMMED, G. J. Plant stress response and adaptation via anthocyanins: A review. **Plant Stress**, v. 10, p. 100230, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100230>. Acesso em: 7 mai. 2025.

LIMA, M. S. de; ARAUJO, M. M.; BERGHETTI, Á. L. P.; AIMI, S. C.; COSTELLA, C.; GRIEBELER, A. M.; SOMAVILLA, L. M.; SANTOS, O. P. dos; VALENTE, B. M. R. T. Mini-cutting technique application in *Corymbia* and *Eucalyptus*: effects of mini-tunnel use across seasons of the year. **New Forests**, v. 53, n. 1, p. 161-179, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11056-021-09851-4>. Acesso em: 30 abr. 2025.

LIU, Q.; HUANG, Z.; WANG, Z.; CHEN, Y.; WEN, Z.; LIU, B.; TIGABU, M. Responses of leaf morphology, NSCs contents and C:N:P stoichiometry of *Cunninghamia lanceolata* and *Schima superba* to shading. **BMC Plant Biology**, v. 20, n. 1, p. 354, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12870-020-02556-4>. Acesso em: 21 mai. 2025.

MA, Y.; MA, X.; GAO, X.; WU, W.; ZHOU, B. Light Induced Regulation Pathway of Anthocyanin Biosynthesis in Plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 20, p. 11116, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms222011116>. Acesso em: 7 mai. 2025.

MANJA, K.; AOUN, M. The use of nets for tree fruit crops and their impact on the production: A review. **Scientia Horticulturae**, v. 246, p. 110-122, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.050>. Acesso em: 30 abr. 2025.

MIRANDA, N. A.; XAVIER, A.; OTONI, W. C.; GALLO, R.; GATTI, K. C.; MOURA, L. C. de; SOUZA, D. M. S. C.; MAGGIONI, J. H.; SANTOS, S. S. de O. Quality and Intensity of Light in the In Vitro Development of Microstumps of *Eucalyptus urophylla* in a Photoautotrophic System. **Forest Science**, v. 66, n. 6, p. 754-760, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/forsci/fxaa027>. Acesso em: 30 abr. 2025.

MOHAWESH, O.; ALBALASMEH, A.; DEB, S.; SINGH, S.; SIMPSON, C.; ALKAFaweEN, N.; MAHADEEN, A. Effect of colored shading nets on the growth and water use efficiency of sweet pepper grown under semi-arid conditions. **HortTechnology**, v. 32, n. 1, p. 21-27, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.21273/HORTTECH04895-21>. Acesso em: 21 mai. 2025.

MUPAMBI, G.; MUSACCHI, S.; SERRA, S.; KALCSITS, L. A.; LAYNE, D. R.; SCHMIDT, T. Protective netting improves leaf-level photosynthetic light use efficiency in “Honeycrisp” apple under heat stress. **HortScience**, v. 53, n. 10, p. 1416-1422, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI13096-18>. Acesso em: 30 abr. 2025.

NARDINI, C.; CRISTO, J. A. de; CARON, B. O.; AZEVEDO, G. C. V. de; PRETTO, M. M.; SILVA, E. dos S.; SGARBOSSA, J.; ELOY, E.; SCHMIDT, D. Implications of using shading meshes and plant density on the leaf anatomy of *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson seedlings. **Revista Árvore**, v. 49, n. 1, p. 1-13, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.53661/1806-9088202549263842>. Acesso em: 30 abr. 2025.

NASCIMENTO, M. E.; PINTO, J. E. B. P.; SILVA JÚNIOR, J. M.; CASTRO, E. M.; SANTOS, F. M. Plasticidade foliar e produção de biomassa seca em *Copaifera langsdorffii* Desf. cultivada sob diferentes espectros de luz. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 57, n. 1, p. 41-48, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2013.064>. Acesso em: 6 jun. 2025.

PASE, R. **Otimização da produtividade de *Eucalyptus* spp. a partir da suplementação luminosa em minijardim clonal**. 2024. 50 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2024. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/32172>. Acesso em: 21 mai. 2025.

POORTER, H.; NIINEMETS, Ü.; NTAGKAS, N.; SIEBENKÄS, A.; MÄENPÄÄ, M.; MATSUBARA, S.; PONS, T. L. A meta-analysis of plant responses to light intensity for 70 traits ranging from molecules to whole plant performance. **New Phytologist**, v. 223, n. 3, p. 1073-1105, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/nph.15754>. Acesso em: 5 jun. 2025.

R CORE TEAM. **R. A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Áustria, 2025. Disponível em: <https://www.r-project.org>.

RETKUTE, R.; SMITH-UNNA, S. E.; SMITH, R. W.; BURGESS, A. J.; JENSEN, O. E.; JOHNSON, G. N.; PRESTON, S. P.; MURCHIE, E. H. Exploiting heterogeneous environments: does photosynthetic acclimation optimize carbon gain in fluctuating light? **Journal of Experimental Botany**, v. 66, n. 9, p. 2437-2447, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jxb/erv055>. Acesso em: 21 mai. 2025.

SHAHAK, Y. Photosensitive netting: an overview of the concept, research and development and practical implementation in agriculture. **Acta Horticulturae**, v. 1015, p. 155-162, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1015.17>. Acesso em: 30 abr. 2025.

SHAO, D.; ZHU, Q.-H.; LIANG, Q.; WANG, X.; LI, Y.; SUN, Y.; ZHANG, X.; LIU, F.; XUE, F.; SUN, J. Transcriptome analysis reveals differences in anthocyanin accumulation in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) induced by red and blue light. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 788828, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.788828>. Acesso em: 7 mai. 2025.

SIVAKUMAR, D.; JIFON, J. Influence of photosensitive shade nettings on postharvest quality of vegetables. In: **Preharvest Modulation of Postharvest Fruit and Vegetable Quality**. [S. l.]: Elsevier, 2018. p. 121-138. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809807-3.00005-6>. Acesso em: 30 abr. 2025.

SIVAKUMAR, D.; JIFON, J.; SOUNDY, P. Spectral quality of photo-selective shade nettings improves antioxidants and overall quality in selected fresh produce after postharvest storage. **Food Reviews International**, v. 34, n. 3, p. 290-307, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/87559129.2017.1298124>. Acesso em: 30 abr. 2025.

SOUZA, G. C. da S.; SOUZA, R. R. de; SILVA, R. R. da; SOUZA, A. R. de; TORO-HERRERA, M. A.; FIGUEREDO, H. F. de; FERREIRA, C. P.; BORGES, M. C. R. Z.; PAIVA NETO, V. B. de; BECKMANN-CAVALCANTE, M. Z. Morphoanatomical and physiological mechanisms of heliconia genotypes in response to varied solar irradiation conditions: The key to successful cultivation in sunny tropical regions. **Scientia Horticulturae**, v. 337, p. 113511, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113511>. Acesso em: 30 abr. 2025.

TAIZ, L.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A.; ZEIGER, E. **Plant Physiology and Development**. 7. ed. New York, NY, USA: Sinauer Associates; Oxford University Press, 2022.

UMESH, M. R.; ANGADI, S.; BEGNA, S.; GOWDA, P. H.; PRASAD, P. V. V. Shade tolerance response of legumes in terms of biomass accumulation, leaf photosynthesis, and chlorophyll pigment under reduced sunlight. **Crop Science**, v. 63, n. 1, p. 278-292, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/csc2.20851>. Acesso em: 6 jun. 2025.

VALLADARES, F.; NIINEMETS, Ü. Shade tolerance, a key plant feature of complex nature and consequences. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 39, p. 237-257, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.39.110707.173506>. Acesso em: 21 mai. 2025.

VILASBOA, J.; COSTA, C. T. da.; FETT-NETO, A. G. Environmental Modulation of Mini-Clonal Gardens for Cutting Production and Propagation of Hard- and Easy-to-Root *Eucalyptus* spp. **Plants**, v. 11, n. 23, p. 3281, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants11233281>. Acesso em: 30 abr. 2025.

WANG, X.; LI, Y.; WANG, G.; LV, H.; LI, C.; JING, S.; WANG, Y.; ZHANG, N.; GUO, Y.-D. CsBLH4 targets CsCAO to regulate chlorophyll anabolism under low light stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 220, p. 105709, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2024.105709>. Acesso em: 21 mai. 2025.

WELLBURN, A. R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **Journal of Plant Physiology**, v. 144, n. 3, p. 307–313, 1994. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)81192-2](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81192-2). Acesso em: 21 mai. 2025.

XAVIER, A.; WENDLING, I.; DA SILVA, R. L. **Silvicultura Clonal: princípios e técnicas**. 3. ed. Viçosa – MG: Editora UFV, 2021. 275 p.

ZHANG, J.; LI, S.; AN, H.; ZHANG, X.; ZHOU, B. Integrated transcriptome and metabolome analysis reveals the anthocyanin biosynthesis mechanisms in blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) leaves under different light qualities. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 1073332, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1073332>. Acesso em: 7 mai. 2025.

ZHOU, K.; JERSZURKI, D.; SADKA, A.; SHLIZERMAN, L.; RACHMILEVITCH, S.; EPHRATH, J. Effects of photosensitive netting on root growth and development of young grafted orange trees under semi-arid climate. **Scientia Horticulturae**, v. 238, p. 272-280, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.054>. Acesso em: 30 abr. 2025.

ZHOU, Y.; WU, W.; SUN, Y.; SHEN, Y.; MAO, L.; DAI, Y.; YANG, B.; LIU, Z. Integrated transcriptome and metabolome analysis reveals anthocyanin biosynthesis mechanisms in pepper (*Capsicum annuum* L.) leaves under continuous blue light irradiation. **BMC Plant Biology**, v. 24, n. 1, p. 210, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12870-024-04888-x>. Acesso em: 7 mai. 2025.

ZHU, L.; LIAO, Y.; ZHANG, T.; ZENG, Z.; WANG, J.; DUAN, L.; CHEN, X.; LIN, K.; LIANG, X.; HAN, Z.; HUANG, Y.; WU, W.; HU, H.; XU, Z.-F.; NI, J. Reactive oxygen species act as the key signaling molecules mediating light-induced anthocyanin biosynthesis in *Eucalyptus*. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 212, p. 108715, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.108715>. Acesso em: 7 mai. 2025.

ZORATTI, L.; JAAKOLA, L.; HÄGGMAN, H.; GIONGO, L. Modification of sunlight radiation through colored photo-selective nets affects anthocyanin profile in *Vaccinium* spp. berries. **PLOS ONE**, v. 10, n. 8, p. e0135935, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0135935>. Acesso em: 30 abr. 2025.

ENRAIZAMENTO DE MINIESTACAS DE CLONES HÍBRIDOS DE *Eucalyptus* SPP. E DE *Corymbia* SPP. SOB DIFERENTES TELAS DE SOMBREAMENTO FOTOSSELETIVAS E CONVENCIONAL EM CASA DE VEGETAÇÃO

RESUMO

O enraizamento de miniestacas é uma etapa crítica na produção de mudas clonais de *Eucalyptus* spp. e *Corymbia* spp., especialmente para materiais geneticamente mais sensíveis às condições ambientais. O uso de telas de sombreamento, ao modular a irradiância nos ambientes de propagação, pode influenciar diretamente a rizogênese. Este estudo avaliou os efeitos de diferentes combinações de sombreamento no minijardim clonal e na casa de vegetação sobre o enraizamento e a sobrevivência de miniestacas de três clones híbridos, sendo dois de *Corymbia citriodora* × *C. torelliana* e um de *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis*, ao longo de três estações do ano. Os resultados indicaram que o enraizamento foi significativamente favorecido pelas combinações de sombreamento em ambos os ambientes, com destaque para as configurações vermelha-vermelha (VR–VR), preta-preta (PT–PT) e azul-azul (AZ–AZ), principalmente no verão. Ambientes sem cobertura (ST–ST) apresentaram os menores percentuais de enraizamento, independentemente da estação. Os efeitos positivos observados foram atribuídos à criação de um microclima mais estável, com redução do estresse luminoso e hídrico, além da possível influência sobre fatores fisiológicos, hormonais e anatômicos que favorecem a formação de raízes. O clone E1 (*Eucalyptus urophylla* × *E. grandis*) manteve altos percentuais de enraizamento mesmo sob menor controle de irradiância, demonstrando maior plasticidade. Já os clones de *Corymbia citriodora* × *C. torelliana* (C1 e C2) demandaram maior proteção para a rizogênese eficiente. Conclui-se que o sombreamento controlado, mais do que os efeitos espectrais específicos das telas utilizadas, constitui um fator importante para o êxito da propagação clonal nos clones avaliados, sendo especialmente relevante para materiais menos responsivos.

Palavras-chave: Propagação clonal; Rizogênese; Microclima.

ROOTING OF MINI-CUTTINGS OF HYBRIDS CLONES OF *Eucalyptus* spp. AND OF *Corymbia* spp. UNDER DIFFERENT PHOTOSELECTIVE AND CONVENTIONAL SHADING NETS IN A GREENHOUSE

ABSTRACT

The rooting of mini-cuttings is a critical step in the clonal propagation of hybrids clones of *Eucalyptus* spp. And the *Corymbia* spp., especially for genotypes that are more sensitive to environmental conditions. The use of shading nets, by modulating irradiance in propagation environments, can directly influence rhizogenesis. This study evaluated the effects of different shading combinations in the clonal mini-gardens and in the greenhouse on the rooting and survival of mini-cuttings from three hybrids clones, two of *Corymbia citriodora* × *C. torelliana* and one of *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis*, over three seasons of the year. Results showed that rooting was significantly favored by the use of shading in both environments, with the best results observed under red-red (VR–VR), black-black (PT–PT), and blue-blue (AZ–AZ) combinations, especially in summer. Environments without any shading (ST–ST) resulted in the lowest rooting percentages, regardless of season. The positive effects were attributed to the creation of a more stable microclimate, with reduced light and water stress, along with possible influences on physiological, hormonal, and anatomical factors that promote root formation. Clone E1 (*Eucalyptus urophylla* × *E. grandis*) maintained high rooting rates even under lower irradiance control, demonstrating greater plasticity. In contrast, the *Corymbia citriodora* × *C. torelliana* clones required more protected conditions for effective rhizogenesis. It is concluded that controlled shading, more than the specific spectral effects of the shading nets used, is an important factor for the success of clonal propagation in the evaluated clones, being especially relevant for less responsive materials.

Keywords: Clonal propagation; Rhizogenesis; Microclimate.

1. INTRODUÇÃO

No processo de produção de mudas, a casa de vegetação desempenha um papel essencial no enraizamento de miniestacas, ao proporcionar um ambiente com maior controle microclimático. Esse controle favorece a formação de raízes adventícias, pois a capacidade de regular com mais precisão variáveis como temperatura, umidade relativa e intensidade luminosa é fundamental para otimizar as taxas de enraizamento, especialmente em espécies com baixo potencial rizogênico (Alfenas *et al.*, 2009; Hartmann *et al.*, 2014; Xavier *et al.*, 2021).

Embora a casa de vegetação proporcione melhor controle microclimático, variações de umidade, temperatura e luz ainda afetam o enraizamento adventício, especialmente no inverno e verão. Há escassez de estudos que avaliem isoladamente os efeitos da luz e de sua redução sobre o enraizamento de clones de *Eucalyptus* e de *Corymbia* em viveiros. Essa lacuna é relevante, considerando que a luz influencia diretamente os processos fisiológicos associados à formação de raízes adventícias (Hartmann *et al.*, 2014).

Atualmente, o sombreamento na casa de vegetação é frequentemente realizado com telas ou malhas termorrefletoras que reduzem em 50% a radiação solar (Alfenas *et al.*, 2009; Pedroso, 2021; Xavier *et al.*, 2021). Contudo, são necessárias melhorias nessa estrutura para permitir uma gestão da luz mais eficaz na otimização do enraizamento adventício.

Essa busca por otimização da luz se justifica, uma vez que níveis altos de irradiância solar podem causar danos ao aparelho fotossintético das plantas (Didaran *et al.*, 2024) e reduzir o enraizamento de miniestacas de *Eucalyptus* spp. (Pedroso, 2021). Por outro lado, deve-se manter luminosidade adequada para não comprometer a fotossíntese (Alfenas *et al.*, 2009). Além disso a auxina pode ser deteriorada quando exposta à luz (Hartmann *et al.*, 2014). Adicionalmente, tanto a qualidade quanto a quantidade da radiação luminosa podem afetar a atividade, o transporte e a disponibilidade da auxina (Meng *et al.*, 2015; Ruedell *et al.*, 2015; Almeida, M. R. *et al.*, 2017).

Considerando a relevância da qualidade da luz, as vermelha e azul destacam-se como os comprimentos de onda mais importantes para promover fotomorfogênese nas plantas (Taiz *et al.*, 2022), influenciando no crescimento de raízes laterais e adventícias (Meng *et al.*, 2015). Existe a possibilidade de que a luz vermelha e a vermelha distante, por intermédio do sistema de fitocromo, regulem o início da formação das raízes em determinadas espécies vegetais (Hartmann *et al.*, 2014). Embora essa hipótese esteja associada à atuação do fitocromo, alguns estudos relatam efeitos positivos da luz vermelha e/ou vermelho distante sobre o enraizamento

em cultivo *in vitro* (Poudel *et al.*, 2008; Baque *et al.*, 2010; Daud *et al.*, 2013; Ruedell *et al.*, 2015; Alallaq *et al.*, 2020), sem investigar diretamente a participação desse sistema fotorreceptor. Resultados positivos também foram observados com luz azul (Lim; Eom, 2013; Alvarenga *et al.*, 2015; Zhai *et al.*, 2021) e com a combinação de azul + vermelha (Iacona; Muleo, 2010). Em nível fisiológico, a qualidade de luz pode promover o maior transporte de auxina das folhas para as raízes e aumentar a expressão dos genes *PIN*, que regulam o transporte de auxina (Meng *et al.*, 2015; Ruedell *et al.*, 2015; Shen *et al.*, 2022). Reforçando ainda mais a importância do manejo luminoso na otimização do enraizamento adventício.

Entre as tecnologias acessíveis no mercado que podem cumprir esse propósito em ambiente de casa de vegetação de forma prática e operacional, destacam-se as telas de sombreamento fotosseletivas, que, além de reduzirem a intensidade luminosa, possuem a capacidade de selecionar diferentes bandas espectrais, como a luz vermelha e azul, transformar luz direta em luz difusa, e fornecer uma barreira física protetora contra a radiação solar excessiva e ao aumento da temperatura (Shahak, 2014; Ilić; Fallik, 2017; Manja; Aoun, 2019), podendo reduzir sintomas de fotoinibição (Mupambi *et al.*, 2018). Essas telas também podem modificar a relação entre luz vermelha e vermelho-distante percebida pelos fitocromos, ajustar a intensidade da radiação necessária para ativar os fotorreceptores sensíveis ao azul e ultravioleta-A, além de regular a luz azul envolvida nas respostas fototrópicas via fototropinas o que pode promover respostas fotomorfogênicas e fisiológicas nas plantas (Ilić; Fallik, 2017).

Diante do exposto, a aplicação das telas de sombreamento fotosseletivas em casas de vegetação pode-se configurar como uma estratégia tecnicamente viável e promissora para o manejo da luz, possibilitando a modulação da intensidade e da qualidade espectral da radiação solar incidente. Essa técnica pode favorecer a criação de um microambiente mais estável e adequado aos processos fisiológicos e hormonais associados à rizogênese, otimizando o enraizamento adventício de miniestacas e, conseqüentemente, a eficiência na produção de mudas clonais. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos das telas de sombreamento fotosseletivas vermelha e azul, bem como da tela preta convencional, sobre miniestacas de clones híbridos de *Eucalyptus* e de *Corymbia* em ambiente de casa de vegetação, com foco na efetividade do enraizamento.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos no período entre maio de 2024 a março de 2025 no Viveiro de Pesquisas do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa (UFV), situado em Viçosa, Minas Gerais, na região da Zona da Mata mineira, situado nas coordenadas 20° 45' 45" S de latitude e 45° 52' 04" O de longitude, a uma altitude de 671 metros. O clima da área é classificado como quente e temperado, do tipo Cwa, de acordo com a classificação de Köppen-Geiger, caracterizando-se por invernos frios e secos, e verões chuvosos. Durante o período de execução do experimento, a temperatura média anual foi de 22,37 °C, com uma temperatura mínima média de 17,44 °C e uma máxima média de 27,31 °C. A precipitação total registrada ao longo do ano foi de 1534 mm (INMET, 2025).

2.1. Minijardim clonal

O minijardim clonal foi composto por um canaletão de alvenaria, com dimensões de 16,2 m de comprimento, 0,80 m de largura e 0,90 m de altura, revestido internamente com plástico filme. Seu interior foi preenchido com uma camada inferior de brita 1 e uma camada superior de areia média, separadas por uma tela de polietileno vazada. Essa estrutura foi dividida em três seções iguais, cada uma com 5,0 m de comprimento e 0,8 m de largura, cobertas individualmente por um tipo específico de tela de sombreamento, posicionada a 0,50 m acima da superfície da areia. Além destas três seções, foi montado um quarto minijardim, de mesmas dimensões, porém sem cobertura, utilizado como controle.

Todos os minijardins foram instalados no interior de uma estufa de teto fixo, coberta por filme plástico difusor Suntherm High Diff 75 (120 micras) e com as laterais fechadas com tela antifídeo Clarite®. As estruturas de sombreamento consistiram em duas telas fotosselativas, uma vermelha (ChromatiNet® Raschel) e uma azul (ChromatiNet® Leno), além de uma tela preta convencional (Polysombra Plus®), todas fixadas em armações metálicas para assegurar a uniformidade da cobertura ao longo do experimento.

As minicepas foram formadas pela técnica da miniestaquia, implantadas com espaçamento de 0,10 × 0,10 m (equivalente a 100 minicepas·m⁻²). Para estimular o desenvolvimento das gemas axilares inferiores, foi realizada a retirada da dominância apical das mudas trinta dias antes do plantio, o que permitiu a formação de minicepas com arquitetura em formato de cálice e altura padronizada entre 10 e 12 cm (Alfenas *et al.*, 2009).

A nutrição das minicepas foi conduzida por meio de fertirrigação automática, utilizando quatro fitas de irrigação dotadas de gotejadores espaçados a cada 20 cm, com vazão de $1,6 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$. A solução nutritiva aplicada foi composta por cloreto de potássio ($240 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), nitrato de cálcio ($920 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), sulfato de magnésio ($307 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), fosfato monoamônio ($96 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), nitrato de potássio ($200 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), ferro quelato ($40 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), ácido bórico ($0,28 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), sulfato de manganês ($1,12 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), sulfato de zinco ($0,48 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), sulfato de cobre ($0,10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) e molibdato de sódio ($0,04 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$). A lâmina diária aplicada foi de $5,0 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$ no inverno e $7,0 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$ no verão (Alfenas *et al.*, 2009), distribuída em três irrigações automáticas realizadas às 8h, 11h e 15h, operadas por uma bomba periférica de 0,5 cv, controlada por um programador Coel BWT20.

Para a coleta do efluente proveniente da solução nutritiva aplicada, foi instalado um sistema de drenagem. Periodicamente, o efluente foi avaliado quanto à condutividade elétrica (CE) e ao pH, utilizando um condutivímetro/pHmetro portátil, com o objetivo de monitorar e controlar a salinidade e o pH do minijardim. Durante o experimento, buscou-se manter a CE entre $1,5$ e $2,0 \text{ mS cm}^{-1}$ e o pH entre $5,5$ e $6,5$.

2.2. Telas de sombreamento fotosseletivas e tela preta convencional

Foram utilizadas telas com 50% de sombreamento, sendo duas fotosseletivas (vermelha e azul) e uma convencional (preta). As telas de sombreamento fotosseletivas são confeccionadas a partir de polipropileno entrelaçado ou polietileno tricotado, projetadas com dimensões específicas de fibras e aberturas que determinam o grau de sombreamento desejado (Ilić; Fallik, 2017; Sivakumar; Jifon, 2018). Durante o processo de fabricação, incorporam-se cromóforos e elementos de natureza reflexiva e dispersiva, possibilitando filtrar seletivamente a radiação solar incidente ao selecionar comprimentos de onda específicos, como as faixas espectrais vermelha e azul, além de promover a conversão da luz direta em luz difusa (Zoratti *et al.*, 2015). Contudo, a fração de radiação que atravessa as aberturas das telas mantém inalteradas suas características espectrais (Ilić; Fallik, 2017).

Nesse contexto, as propriedades ópticas das telas de sombreamento fotosseletivas variam conforme a coloração do material. A tela vermelha (R) foi desenvolvida para absorver a radiação ultravioleta (UV) (100–400 nm), a azul (B) (420–460 nm) e a verde (G) (495–570 nm), enquanto aumenta a transmissão nas regiões do vermelho (R) (640–680 nm) e do vermelho distante (FR) (690–750 nm). Por outro lado, a tela azul (B) foi projetada para absorver a

radiação ultravioleta (UV) (100–400 nm) e as faixas espectrais do vermelho (R) (640–680 nm) e do vermelho distante (FR) (690–750 nm), promovendo o enriquecimento da luz na faixa azul (B) (420–460 nm) (Sivakumar; Jifon; Soundy, 2018). Em contraste, a tela preta convencional é de natureza opaca, não altera o espectro da radiação transmitida, atuando apenas na redução da intensidade luminosa (Manja; Aoun, 2019). Dessa forma, foi utilizada como controle para a avaliação dos efeitos induzidos pelas diferentes qualidades de sombreamento.

2.3. Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial, com quatro repetições, sendo a unidade experimental constituída por dez miniestacas. Os tratamentos constituíram-se da combinação de dez ambientes (tela vermelha no minijardim e tela vermelha na casa de vegetação (VR–VR); tela vermelha no minijardim e sem tela na casa de vegetação (VR–ST); tela preta no minijardim e tela preta na casa de vegetação (PT–PT); tela preta no minijardim e sem tela na casa de vegetação (PT–ST); tela azul no minijardim e tela azul na casa de vegetação (AZ–AZ); tela azul no minijardim e sem tela na casa de vegetação (AZ–ST); sem tela no minijardim e tela vermelha na casa de vegetação (ST–VR); sem tela no minijardim e tela preta na casa de vegetação (ST–PT); sem tela no minijardim e tela azul na casa de vegetação (ST–AZ); sem tela no minijardim e sem tela na casa de vegetação (ST–ST)), em três épocas do ano (inverno, primavera e verão) e três clones (dois híbridos de *Corymbia citriodora* × *C. torelliana* - C1 e C2, e um híbrido de *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* – E1), totalizando 90 tratamentos.

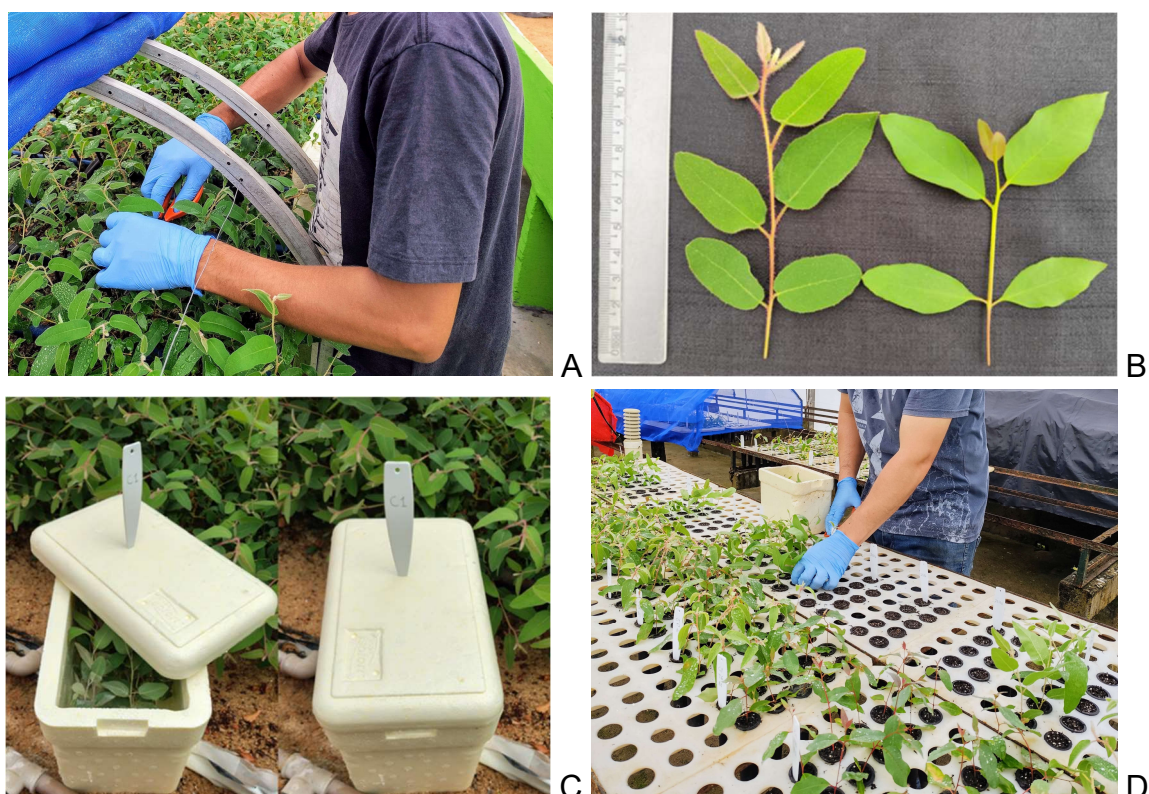
2.4. Preparação dos recipientes e substrato

Os recipientes utilizados foram tubetes de 55 cm³ de volume e bandejas, ambos previamente lavados com bomba de alta pressão e, em seguida, esterilizados por imersão em água a 80 °C por 30 segundos para garantir a desinfecção adequada (Alfenas *et al.*, 2009), utilizando um esterilizador de tubetes Dacko®. O substrato empregado no estaqueamento das miniestacas foi o Carolina Soil classe LXXXVI, composto por turfa, vermiculita e palha de arroz carbonizada. Além disso, recebeu adubação base com Osmocote® Plus 15-09-12 5M, na proporção de 3 kg·m⁻³, e superfosfato simples, na quantidade de 6 kg·m⁻³.

2.5. Miniestacas, armazenamento e estaqueamento

As miniestacas utilizadas eram compostas por dois pares de folhas (8 a 10 cm) para o clone híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* (E1) e três pares de folhas (11 a 13 cm) para os clones híbridos de *Corymbia citriodora* x *C. torelliana* (C1 e C2), ambas com folhas completamente expandidas, sem redução foliar. As miniestacas foram coletadas no minijardim clonal e armazenadas em caixas de isopor com capacidade para 5 litros, totalmente preenchidas com água a uma temperatura média de 20 °C, permanecendo completamente submersas e com a tampa fechada. O material foi estaqueado dentro da casa de vegetação em um substrato completamente úmido. No momento do estaqueamento, um pedaço da base inicial do caule de todas as miniestacas foi cortado. O tempo total para coleta e estaqueamento na casa de vegetação não ultrapassou 15 minutos.

Figura 1. Etapas: **Figura 1A** – Coleta em minijardim. **Figura 1B** – Padrão de miniestacas. **Figura 1C** – Armazenamento. **Figura 1D** – Estaqueamento



Fonte: O autor.

2.6. Casa de vegetação e casa de aclimação

A permanência das miniestacas na casa de vegetação foi de 35 dias, sendo 30 para avaliações e mais 5 para aclimação das miniestacas dos tratamentos com sombra, colocadas fora das telas. Em seguida, permaneceram por mais 10 dias na casa de sombra para o término da aclimação.

A estrutura da casa de vegetação utilizada (Figura 2A) é composta por metal galvanizado e possui dimensões de 12,0 × 6,40 metros, com um pé-direito de 2,90 metros. O teto é coberto com filme plástico difusor Suntherm High Diff 75 (120 micras), enquanto as laterais são cobertas com filme plástico Suncover White com 60% de sombreamento. Internamente, conta com uma tela termorrefletora Aluminet® de 50% de sombreamento. Além disso, a casa conta com uma antecâmara de tela antiafídeo Clarite®.

O piso interno é concretado e possui bancadas fixas suspensas a 0,85 m do solo. Acima dessas bancadas, a 0,40 m de altura, estão três estruturas metálicas, cada uma com 3,20 metros de comprimento (Figura 2C), que servem de suporte e estão totalmente cobertas por diferentes telas (vermelha, azul e preta), que receberam em seu interior as miniestacas (Figura 2E).

Além disso, a estufa possui um sistema de nebulização intermitente, utilizando nebulizadores estáticos modelo CoolNet™ Pro em Cruz (4 bicos) da Netafim®, com vazão de 7,5 L/h por bico. Esse sistema também foi adicionado de forma complementar no interior das telas. A eficiência desse sistema é impulsionada por uma bomba periférica XKM80 1hp 60 L/min 220V 98464 AMANCO. Para o resfriamento da casa, foram utilizados uma janela zenital (12,0 x 0,3 m) e um exaustor.

O ambiente interno é controlado para manter a umidade acima de 75% e uma temperatura abaixo de 35 °C (Figura 3). O controle é realizado de forma híbrida, utilizando um controlador de umidade e temperatura da COEL (modelo Y39U) em dias quentes e um temporizador da CITEX (modelo THC15A) em dias frios ou nublados.

A radiação fotossinteticamente ativa (RFA) média dos valores máximos registrada no interior da casa de vegetação foi de 328,00 e 587,47 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para o inverno e o verão, respectivamente. Sob as diferentes telas de sombreamento, os valores médios observados foram: tela vermelha – 143,82 e 243,10 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; tela azul – 155,08 e 270,80 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; e tela preta – 155,52 e 255,89 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, também para o inverno e o verão, respectivamente. No ambiente externo, as médias foram de 1331,89 e 1946,44 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ nas mesmas estações.

As medições foram efetuadas utilizando o sensor quântico LI-190, conectado ao registrador de dados LI-1400 (LI-COR).

A casa de sombra (Figura 2B) é dividida em duas partes: a primeira com 80% de sombreamento, onde as miniestacas enraizadas permaneceram por cinco dias; e a segunda, com 50% de sombreamento, onde ficaram por mais cinco dias. Posteriormente, as mudas foram transferidas para o pátio de crescimento e rustificação.

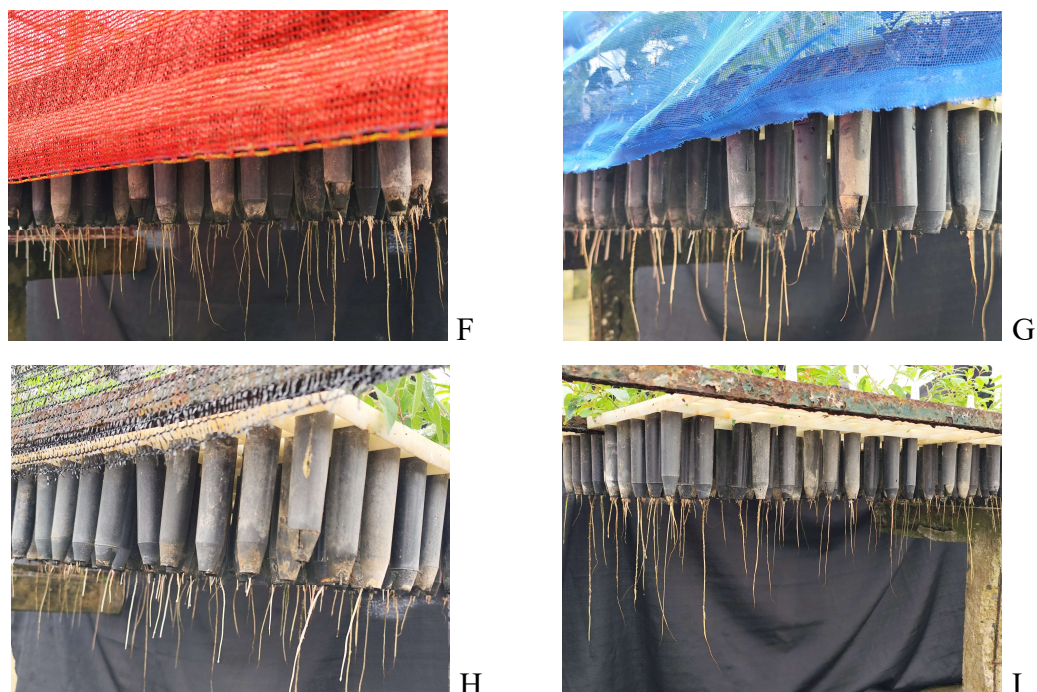
Figura 2. Estruturas e enraizamento: **Figura 2A** – Casa de vegetação. **Figura 2B** – Casa de sombra. **Figura 2C** – Estrutura das telas. **Figura 2D** – Interior da casa de vegetação. **Figura 2E** – Interior das telas



(continua na próxima página)

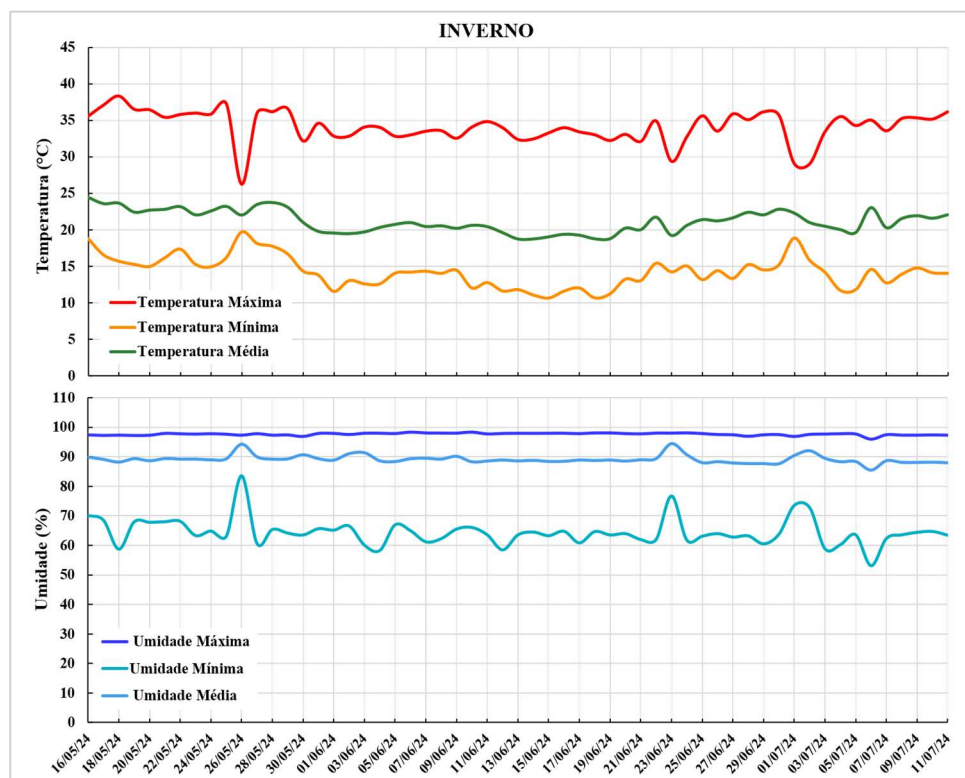
(continuação da Figura 2)

Figura 2. Estruturas e enraizamento (continuação): **Figura 2F** – Raízes sob tela vermelha. **Figura 2G** – Raízes sob tela azul. **Figura 2H** – Raízes sob tela preta. **Figura 2I** – Raízes sem tela adicional



Fonte: O autor.

Figura 3. Temperatura e Umidade da casa de vegetação em diferentes estações do ano: **Figura 3A** – Inverno. **Figura 3B** – Primavera. **Figura 3C** – Verão

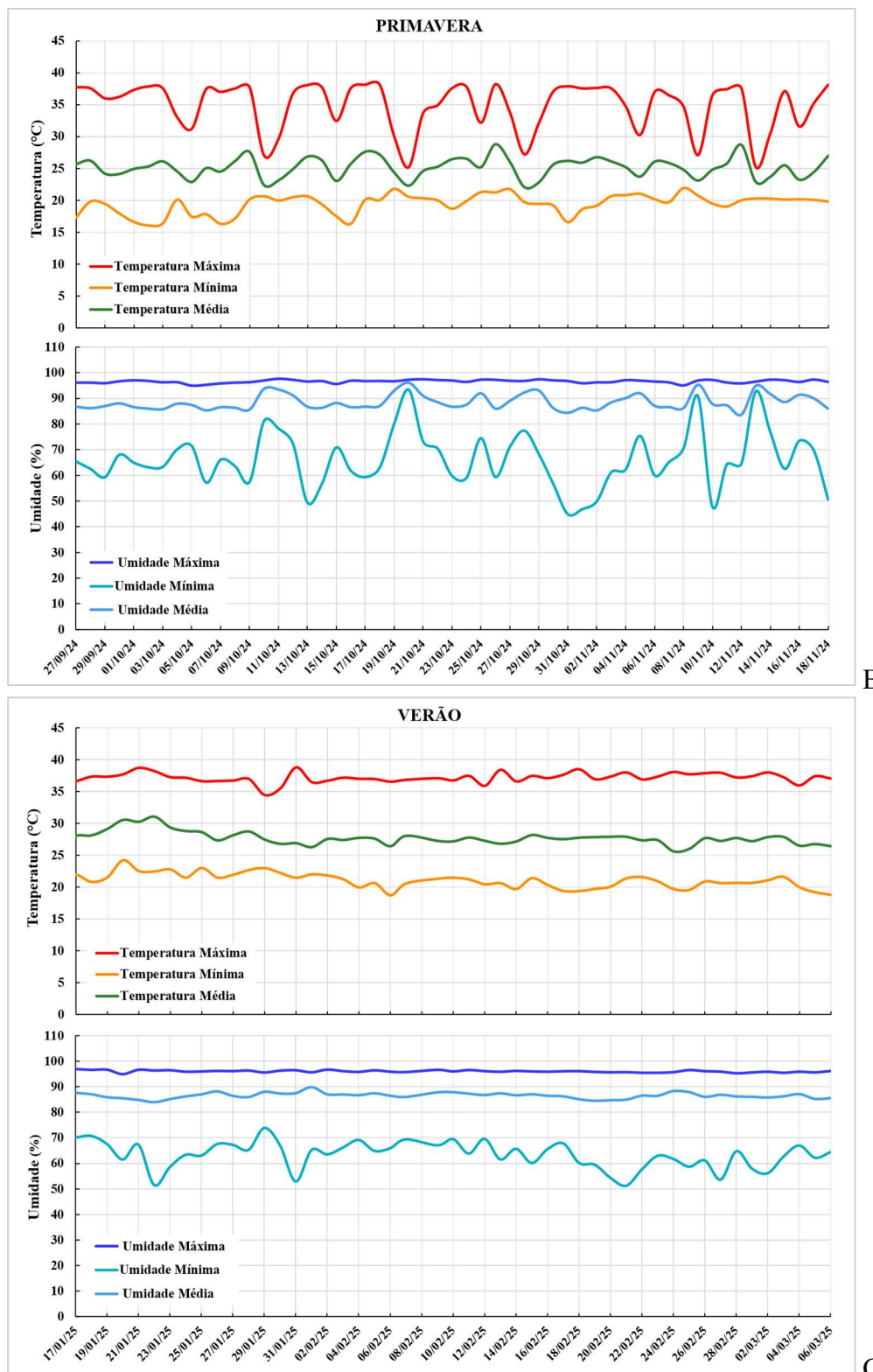


A

(continua na próxima página)

(continuação da Figura 3)

Figura 3. Temperatura e Umidade da casa de vegetação em diferentes estações do ano (continuação): **Figura 3B** – Primavera. **Figura 3C** – Verão



Fonte: O autor.

2.7. Análises estatísticas

As avaliações foram realizadas ao final do período de aclimação, aos 45 dias. Os dados foram analisados estatisticamente por meio da análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey e o procedimento de Skott-Knott ao nível de significância de 5%, utilizando o pacote Exp. Des. pt (Ferreira; Cavalcanti; Nogueira, 2014) do software R (R Development Core Team, 2025).

3. RESULTADOS

3.1. Enraizamento na saída da casa de sombra

Os ambientes, os clones e as épocas do ano não apresentaram interação significativa entre si ($p > 0,05$). Ao avaliar a interação clone \times época, observou-se que os clones de *Corymbia* spp. demonstraram maior sensibilidade às variações sazonais, enquanto o *Eucalyptus* spp. manteve desempenho estável (Tabela 1). O clone E1 (*Eucalyptus urophylla* \times *E. grandis*) apresentou os maiores percentuais de enraizamento em todas as épocas do ano (86,00% a 88,25%), com desempenho significativamente superior aos clones C1 e C2 (*Corymbia citriodora* \times *C. torelliana*). Entre os clones de *Corymbia* spp., o clone C2, de modo geral, obteve melhores resultados que C1, exceto na primavera, quando ambos apresentam resultados semelhantes.

Quanto à variação sazonal, para o clone E1 não houve diferença estatística significativa entre as três épocas do ano (Tabela 1). Em contrapartida, os clones de *Corymbia* spp., mostraram influência sazonal evidente no sucesso de enraizamento. O clone C2 apresentou comportamento gradativo, com melhor desempenho no verão (52,00 %), seguido pelo inverno (29,25%) e, por último, a primavera (18,75%), com diferenças estatísticas entre todas as épocas. Para o clone C1, o verão também proporcionou a maior taxa de enraizamento (42,50%), enquanto inverno e primavera não diferiram estatisticamente.

Na análise da interação entre ambientes e épocas, observou-se um padrão consistente de superioridade do verão em todos os ambientes testados, com percentuais de enraizamento significativamente mais elevados nessa estação (Tabela 2). Esse comportamento foi particularmente evidente nos ambientes (VR–VR), (PT–PT), (AZ–AZ) e (ST–AZ), que apresentaram valores superiores a 70%.

Tabela 1 – Percentual de enraizamento de miniestacas clones de *Corymbia citriodora* × *C. torelliana* (C1 e C2) e *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* (E1), sob diferentes combinações de telas de sombreamento no minijardim (MJ) e na casa de vegetação (CV), em três épocas do ano

Época	Clones		
	C1	C2	E1
Inverno	19,50 Cb	29,25 Bb	86,00 Aa
Primavera	24,75 Bb	18,75 Bc	88,25 Aa
Verão	42,50 Ca	52,00 Ba	87,00 Aa

Nota: Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha (Clone) e minúscula na coluna (Época), não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 2 – Percentual de enraizamento de miniestacas clones de *Corymbia citriodora* × *C. torelliana* (C1 e C2) e *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* (E1), sob diferentes combinações de telas de sombreamento no minijardim (MJ) e na casa de vegetação (CV), em três épocas do ano

Combinação de Telas (MJ×CV)	Época		
	Inverno	Primavera	Verão
VR-VR	55,00 Bb	50,00 Ba	75,83 Aa
VR-ST	45,00 Ac	42,50 Ab	43,33 Ab
PT-PT	67,50 Aa	50,83 Ba	73,33 Aa
PT-ST	41,66 Ac	44,16 Ab	49,16 Ab
AZ-AZ	54,16 Bb	55,83 Ba	72,50 Aa
AZ-ST	38,33 Ac	40,83 Ab	50,83 Ab
ST-VR	35,00 Bc	43,33 Bb	64,16 Aa
ST-PT	39,16 Bc	41,66 Bb	61,66 Aa
ST-AZ	40,00 Bc	35,83 Bb	72,50 Aa
ST-ST	30,83 Ac	36,66 Ab	41,66 Ab

Notas: Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha (Época) e minúscula na coluna (Combinação de tela) não diferem entre si pelo procedimento de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Configurações de sombreamento referente à combinação do tipo de tela utilizada no minijardim e na casa de vegetação, sendo VR: tela vermelha; AZ: tela azul; PT: tela preta; ST: sem tela.

No inverno, o ambiente (PT-PT) apresentou o melhor desempenho (67,50%), seguida por (VR-VR) (55,00%) e (AZ-AZ) (54,16%) (Tabela 2). Por outro lado, as combinações (VR-ST), (PT-ST), (AZ-ST) e (ST-ST) (controle) registraram os menores percentuais de enraizamento em todas as épocas, com valores que não ultrapassaram 50,83% e sem variações expressivas entre as estações. Na primavera, os valores foram intermediários em relação ao inverno e ao verão para a maioria dos ambientes, destacando-se (AZ-AZ) (55,83%), (PT-PT) (50,83%) e (VR-VR) (50,00%) como os de melhor desempenho nessa estação.

Na avaliação da interação ambientes x clone, observou-se que o clone E1 apresentou os maiores índices de enraizamento em todos os ambientes testados, em relação aos outros clones

(Tabela 3), confirmando sua maior capacidade de enraizamento, independentemente do sombreamento utilizado, com percentuais variando de 80,83% (AZ–AZ) a 93,33% (VR–ST). Entre os clones de *Corymbia* spp., os resultados foram mais sensíveis aos diferentes ambientes. O clone C1 obteve seus melhores desempenhos no AZ–AZ (49,16%), PT–PT (44,16%) e VR–VR (41,66%), que formaram o grupo estatisticamente superior. Os ambientes VR–ST, PT–ST, AZ–ST, ST–VR, ST–PT e ST–AZ apresentaram desempenho intermediário, com percentuais entre 22,50% e 30,83%, enquanto o ST–ST (controle) resultou no menor enraizamento (5,83%) para esse clone.

Tabela 3 – Percentual de enraizamento de miniestacas dos clones de *Corymbia citriodora* × *C. torelliana* (C1 e C2) e de *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* (E1), sob diferentes combinações de telas de sombreamento no minijardim (MJ) e na casa de vegetação (CV)

Combinação de Telas (MJ×CV)	Clone		
	C1	C2	E1
VR-VR	41,66 Ba	46,66 Ba	92,50 Aa
VR-ST	22,50 Bb	15,00 Bc	93,33 Aa
PT-PT	44,16 Ca	58,33 Ba	89,16 Aa
PT-ST	23,33 Bb	24,16 Bb	87,50 Aa
AZ-AZ	49,16 Ba	52,50 Ba	80,83 Aa
AZ-ST	16,66 Bc	26,66 Bb	86,66 Aa
ST-VR	27,50 Bb	31,66 Bb	83,33 Aa
ST-PT	27,50 Bb	28,33 Bb	86,66 Aa
ST-AZ	30,83 Bb	33,33 Bb	84,16 Aa
ST-ST	5,83 Bc	16,66 Bc	86,66 Aa

Notas: Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha (Clone) e minúscula na coluna (Combinação de tela) não diferem entre si pelo procedimento de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Configurações de sombreamento referente à combinação do tipo de tela utilizada no minijardim e na casa de vegetação, sendo VR: tela vermelha; AZ: tela azul; PT: tela preta; ST: sem tela.

De forma semelhante, o clone C2 também apresentou seus maiores valores nos ambientes PT–PT (58,33%), AZ–AZ (52,50%) e VR–VR (46,66%), todos incluídos no grupo de maior desempenho (Tabela 3). Os ambientes PT–ST, AZ–ST, ST–VR, ST–PT e ST–AZ resultaram em percentuais intermediários, com variações entre 24,16% e 33,33%. Os piores resultados foram obtidos no VR–ST (15,00%) e ST–ST (16,66%), com diferença estatística significativa em relação às demais.

4. DISCUSSÃO

4.1. Enraizamento e sobrevivência

A resposta ao sombreamento variou de acordo com o material genético, refletindo distintos graus de sensibilidade às condições microclimáticas de propagação. Para o clone de *Eucalyptus* spp., a combinação de sombreamento no minijardim clonal e na casa de vegetação exerceu influência positiva sobre o enraizamento, embora seu efeito tenha sido menos determinante. O elevado desempenho foi mantido mesmo em ambientes com menor controle de irradiância, evidenciando a maior plasticidade fisiológica desse genótipo frente às variações ambientais. Em contrapartida, os clones de *Corymbia* spp. demonstraram maior sensibilidade às variações ambientais, sendo a presença de sombreamento em ambos os ambientes um fator importante para o êxito da rizogênese nesse estudo.

Essas diferenças genótípicas foram corroboradas por variações significativas nos percentuais de enraizamento das miniestacas, conforme as combinações de sombreamento adotadas no minijardim clonal e na casa de vegetação. De modo geral, as combinações que utilizaram cobertura em ambos os ambientes, como vermelha-vermelha (VR–VR), preta-preta (PT–PT) e azul-azul (AZ–AZ), proporcionaram os maiores índices de enraizamento, especialmente no verão. Em contraste, o ambiente sem qualquer cobertura, isto é, sem tela no minijardim e sem tela adicional na casa de vegetação (ST–ST), apresentou os menores percentuais de enraizamento, independentemente da estação avaliada.

O aumento nas taxas de enraizamento durante o verão pode estar relacionado às temperaturas mais altas nas condições experimentais realizadas, que estimularam o metabolismo celular envolvido na indução da rizogênese (Alfenas *et al.*, 2009; Hartmann *et al.*, 2014; Xavier *et al.*, 2021). No entanto, algumas combinações, como VR–VR, PT–PT e ST–AZ, apresentaram maiores percentuais de enraizamento no inverno em comparação à primavera. Tal resultado pode estar relacionado às variações ambientais registradas durante os experimentos, uma vez que, embora realizados no período do inverno e da primavera, ocorreram picos de temperatura (Figura 3). Além disso, como as estações do ano se apresentaram pouco definidas durante o período experimental, com variações climáticas atípicas, é possível que essas condições tenham interferido na resposta fisiológica das miniestacas.

Resultados semelhantes foram relatados para outras espécies propagadas vegetativamente. Estacas de minicepas de *Carpinus betulus* (Maynard; Bassuk, 1996), *Cotinus*

cogygria (Pacholczak; Szydło; Łukaszewska, 2005), *Cola anomala* (Kanmegne *et al.*, 2017), *Cornus alba* (Pacholczak; Jędrzejuk; Sobczak, 2017), *Sequoia sempervirens* (Navroski *et al.*, 2022) e *Lindera benzoin* (Stokes; Bassuk; Miller, 2023), cultivadas sob sombreamento, também apresentaram melhores taxas de enraizamento, mesmo sem a continuidade do sombreamento na casa de vegetação. De modo semelhante, Nissim-Levi *et al.* (2014) observaram que estacas de *Heteromeles* apresentaram maior enraizamento quando produzidas sob telas azul e perolada, enquanto para *Laurus nobilis* a tela perolada proporcionou os melhores resultados.

Vale destacar que, embora os estudos citados tenham relatado bons índices de enraizamento apenas com o sombreamento das minicepas, os resultados obtidos no presente trabalho indicam que tal estratégia, de forma isolada, não foi suficiente, com exceção do clone de *Eucalyptus* spp.. Para maximizar o enraizamento, especialmente nos clones de *Corymbia* spp., foi necessário manter o sombreamento também na casa de vegetação.

Além disso, é importante destacar que o efeito benéfico observado não pode ser atribuído especialmente às propriedades espectrais das telas fotosselativas (vermelha e azul), uma vez que a tela preta, que apenas reduz a irradiância sem alterar a qualidade espectral da luz incidente, proporcionou resultados de enraizamento semelhantes aos das demais. Esses resultados sugerem que o fator determinante foi a presença do sombreamento em si, e não o efeito fotosselativo das telas. Dessa forma, a atenuação da radiação solar atuou como elemento-chave para o sucesso do enraizamento, conforme também observado por Pedroso (2016, 2021). Tais efeitos positivos da combinação de sombreamento no minijardim e na casa de vegetação podem ser relacionados à criação de um ambiente microclimático mais estável e menos estressante para as miniestacas.

Esse microclima atenuado é particularmente importante considerando que a radiação solar em excesso, especialmente a UV-B, provoca fotoinibição e estresse oxidativo nas plantas, além de prejudicar o sistema fotossintético (Kumari *et al.*, 2022; Dai *et al.*, 2024). Além disso, ambientes sombreados podem resultar em teores mais baixos de antocianinas, conforme demonstrado por Pedroso (2016, 2021) em estudos com diferentes níveis de sombreamento em casa de vegetação. Esse fenômeno ocorre porque as antocianinas atuam como mecanismo de fotoproteção contra o excesso luminoso (Ma *et al.*, 2021). A redução em sua síntese sugere menor necessidade de proteção contra radiação, liberando recursos da planta para processos de crescimento e desenvolvimento, como a rizogênese.

Adicionalmente, uma menor produção de flavonoides pode ser benéfica para o enraizamento adventício, visto que eles podem afetar negativamente o transporte de auxina nas

plantas (Brown *et al.*, 2001; Peer *et al.*, 2004; Kuhn *et al.*, 2017), principal fitohormônio envolvido no enraizamento adventício (Hartmann *et al.*, 2014; Xavier *et al.*, 2021).

Outra hipótese relevante é que a radiação solar excessiva pode comprometer o conteúdo de auxina, uma vez que este hormônio pode sofrer degradação na presença de luz (Hartmann *et al.*, 2014). Adicionalmente, a auxina pode ter sua atividade comprometida pela ação de espécies reativas de oxigênio (ROS) (Mittler *et al.*, 2011; Paszternák; Palme; Pérez-Pérez, 2023), que são induzidas pela fotoxidação.

Por outro lado, em condições de baixa luminosidade, observa-se um aumento na concentração de auxina, associado à ativação de fatores de interação do fitocromo (PIFs), os quais induzem a expressão de genes relacionados à biossíntese de auxina como os da família *YUCCA* (Iglesias *et al.*, 2018; Küpers; Oskam; Pierik, 2020). Em contraste, a radiação UV-B, presente na luz solar, inibe a atividade dos PIFs (Sharma *et al.*, 2019) e pode desestabilizar a homeostase da auxina por múltiplos mecanismos, incluindo danos foto-oxidativos, alterações na biossíntese e degradação (Vanhaelewyn *et al.*, 2016). Nesse contexto, a maior concentração de auxina nos ambientes sombreados pode ter contribuído para a melhor taxa de enraizamento observada.

Outro fator hormonal relevante refere-se à relação entre auxinas e citocininas. A maior exposição à luz pode aumentar a produção de citocininas (Hammerton; Nicander; Tillberg, 1998; Roman *et al.*, 2016), e sabe-se que a maior concentração da auxina sobre a citocinina é fundamental para a indução radicular. Quando ambas estão em concentrações elevadas, ocorre indução de calos em detrimento da formação de raízes (Hartmann *et al.*, 2014; Xavier *et al.*, 2021).

Além dos fatores hormonais, miniestacas produzidas em pleno sol (controle) podem ter apresentado maior lignificação, uma vez que várias espécies vegetais cultivadas sob luz e ao excesso de luz apresentam maior deposição de lignina (Maynard; Bassuk, 1996; Syros; Yupsanis; Economou, 2005; Araújo *et al.*, 2014; Falcioni *et al.*, 2018). Esse aumento na lignificação pode comprometer a capacidade de enraizamento, uma vez que estacas menos lignificadas são mais propícias à emissão de raízes adventícias (Xavier *et al.*, 2021). Ademais, estudos com diferentes espécies indicam que plantas cultivadas em ambientes sombreados apresentam menor deposição de lignina nas paredes celulares (Wang *et al.*, 2012; Wu *et al.*, 2017; Ma *et al.*, 2023).

Aliado a isso, o sombreamento pode causar alterações anatômicas nas miniestacas, como um desenvolvimento menos robusto do esclerênquima (Maynard; Bassuk, 1996). Essas

modificações podem ser responsáveis pelos efeitos benéficos ao enraizamento, uma vez que a redução da espessura do esclerênquima é relatada como fator que tende a diminuir as barreiras físicas ao crescimento do primórdio radicular, já que camadas espessas dessa estrutura são consideradas obstáculos anatômicos ao desenvolvimento da raiz (Pacholczak; Szydło; Łukaszewska, 2005, 2006; Pacholczak; Jędrzejuk; Sobczak, 2017).

Além disso, miniestacas provenientes de minijardins cultivados sob sombreamento podem apresentar características semelhantes às observadas em outras espécies sob essa condição, como maior razão de área foliar (RAF) (Endres *et al.*, 2010; Formisano *et al.*, 2022) e teores mais elevados de clorofila (Ilić *et al.*, 2015; Almeida, J. M., 2017). Essas características indicam uma maior eficiência na captação de luz (Poorter *et al.*, 2019; Taiz *et al.*, 2022), o que poderia resultar em maiores taxas fotossintéticas no ambiente sombreado da casa de vegetação. Como consequência, pode haver um aumento na produção de fotoassimilados, fitohormônios e carboidratos, compostos originados da fotossíntese, os quais são essenciais para a indução e o desenvolvimento radicular (Alfenas *et al.*, 2009).

Miniestacas são especialmente vulneráveis à perda de água por transpiração excessiva, uma vez que ainda não possuem um sistema radicular funcional (Xavier *et al.*, 2021). O sombreamento adequado reduz a intensidade da radiação solar direta, o que, por sua vez, diminui a temperatura da folha e do ar ao redor da estaca (Pedroso, 2016). Ao manter a temperatura em um nível mais ameno, as telas de sombreamento podem minimizar a perda de água, conservando a turgescência das células e tecidos.

Por fim, é importante considerar que a redução da temperatura e a criação de um microclima mais confinado sob o sombreamento pode favorecer a manutenção de uma alta umidade relativa do ar (UR) ao redor das miniestacas. Essa atmosfera úmida reduz o déficit de pressão de vapor (DPV) entre a folha e o ambiente, diminuindo a transpiração (Grossiord *et al.*, 2020; López; Way; Sadok, 2021). Como consequência, a taxa transpiratória é reduzida, prevenindo o estresse hídrico e o murchamento, fatores críticos para a sobrevivência das miniestacas e a indução do enraizamento (Hartmann *et al.*, 2014; Xavier *et al.*, 2021).

Nesse contexto, o sombreamento nos ambientes do minijardim e da casa de vegetação mostrou-se essencial para a criação de um microclima mais estável e menos estressante, especialmente para clones de *Corymbia* spp.. Essa condição atenuou o estresse luminoso, o que possivelmente favoreceu o equilíbrio fisiológico, hormonal e anatômico necessário à indução da rizogênese e à maior sobrevivência das miniestacas.

5. CONCLUSÕES

O presente estudo demonstrou que o sucesso do enraizamento de miniestacas de clones híbridos de *Eucalyptus* spp. e de *Corymbia* spp. está fortemente associado às condições de sombreamento nos ambientes de propagação. Enquanto o clone de *Eucalyptus* spp. apresentou elevada plasticidade fisiológica, com alto percentual de enraizamento mesmo sob menor controle de irradiância, os clones de *Corymbia* spp. revelaram maior sensibilidade às variações ambientais, demandando ambientes com sombreamento tanto no minijardim clonal quanto na casa de vegetação para a maximização da rizogênese.

As combinações de sombreamento que utilizaram telas em ambos os ambientes, especialmente as configurações VR–VR, PT–PT e AZ–AZ, proporcionaram os melhores percentuais de enraizamento, destacando-se principalmente no verão. Já o ambiente sem cobertura (ST–ST) resultou nos menores índices, independentemente da estação e do material genético avaliado. Esses resultados evidenciam a importância da criação de um microclima mais estável e atenuado para promover a formação de raízes adventícias, especialmente em materiais geneticamente menos responsivos.

Os efeitos positivos do sombreamento foram atribuídos à redução da radiação solar direta, à menor perda de água por transpiração e ao controle térmico, fatores que potencialmente beneficiam o equilíbrio hídrico e hormonal das miniestacas. Ambientes sombreados também podem ter contribuído para maior acúmulo de auxinas, menor produção de flavonoides inibidores e menor deposição de lignina, além de reduzirem possíveis barreiras anatômicas ao crescimento radicular, como o espessamento do esclerênquima. Tais alterações fisiológicas e estruturais podem ter contribuído diretamente para o aumento da eficiência do enraizamento.

Por fim, os resultados indicam que, mais do que os efeitos espectrais específicos das telas fotosselativas, foi a redução da irradiância solar que atuou como fator determinante para o sucesso da propagação clonal. Essa constatação reforça a possível viabilidade do uso de sombreamento controlado como ferramenta técnica essencial para a produção de mudas clonais, sobretudo no caso dos clones de *Corymbia* spp., que demandam maior cuidado no manejo do ambiente de enraizamento.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALALLAQ, S.; RANJAN, A.; BRUNONI, F.; NOVÁK, O.; LAKEHAL, A.; BELLINI, C. Red light controls adventitious root regeneration by modulating hormone homeostasis in *Picea abies* seedlings. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 586140, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.586140>. Acesso em: 1 mai. 2025.
- ALFENAS, A. C.; ZAUZA E. A. V.; MAFIA, G. R.; ASSIS, T. F. **Clonagem e doenças do eucalipto**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2009.
- ALMEIDA, J. M. de. **Avaliação de três variedades de *lisianthus* em ambiente protegido com telas de sombreamento de diferentes espectros de cor**. 2017. 52 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.11.2017.tde-09102017-170006>. Acesso em: 16 jun. 2025.
- ALMEIDA, M. R.; AUMOND, M. J.; COSTA, C. T.; SCHWAMBACH, J.; RUEDEL C. M.; CORREA, L. R.; FETT-NETO A. G. Environmental control of adventitious rooting in *Eucalyptus* and *Populus* cuttings. **Trees**, v. 31, p. 1377-1390, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00468-017-1550-6>. Acesso em: 28 abr. 2025.
- ALVARENGA, I. C. A.; PACHECO, F. V.; SILVA, S. T.; BERTOLUCCI, S. K. V.; PINTO, J. E. B. P. In vitro culture of *Achillea millefolium* L.: quality and intensity of light on growth and production of volatiles. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 122, n. 2, p. 299-308, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11240-015-0766-7>. Acesso em: 2 mai. 2025.
- ARAÚJO, P.; CESARINO, I.; SAMPAIO MAYER, J. L.; FERRARI, I. F.; KIYOTA, E.; SAWAYA, A. C. H. F.; LEME, A. F. P.; MAZZAFERA, P. A model system to study the lignification process in *Eucalyptus globulus*. **Physiologia Plantarum**, v. 152, n. 1, p. 17-31, set. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ppl.12152>. Acesso em: 13 jun. 2025.
- BAQUE, M. A.; HAHN, E.-J.; PAEK, K.-Y. Induction mechanism of adventitious root from leaf explants of *Morinda citrifolia* as affected by auxin and light quality. **In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant**, v. 46, n. 1, p. 71-80, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11627-009-9261-3>. Acesso em: 2 mai. 2025.
- BROWN, D. E.; RASHOTTE, A. M.; MURPHY, A. S.; NORMANLY, J.; TAGUE, B. W.; PEER, W. A.; TAI, L.; MUDAY, G. K. Flavonoids act as negative regulators of auxin transport in vivo in *Arabidopsis*. **Plant Physiology**, v. 126, n. 2, p. 524-535, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.126.2.524>. Acesso em: 9 jun. 2025.
- DAI, Y.; LI, M.; LI, H.; XIA, L.; ZHANG, S. Phytohormone-regulated UV-B photomorphogenesis and acclimation. **Environmental and Experimental Botany**, v. 224, p. 105830, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2024.105830>. Acesso em: 29 abr. 2025.

DAUD, N.; FAIZAL, A.; GEELEN, D. Adventitious rooting of *Jatropha curcas* L. is stimulated by phloroglucinol and by red LED light. **In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant**, v. 49, n. 2, p. 183-190, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11627-012-9486-4>. Acesso em: 2 mai. 2025.

DIDARAN, F.; KORDROSTAMI, M.; GHASEMI-SOLOKLUI, A. A.; PASHKOVSKIY, P.; KRESLAVSKI, V. D.; KUZNETSOV, V. V.; ALLAKHVERDIEV, S. I. The mechanisms of photoinhibition and repair in plants under high light conditions and interplay with abiotic stressors. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 259, p. 113004, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2024.113004>. Acesso em: 02 mai. 2025.

ENDRES, L.; CÂMARA, C. A.; FERREIRA, V. M.; SILVA, J. V. Morphological and photosynthetic alterations in the Yellow-ipe, *Tabebuia chrysotricha* (Mart. Ex DC.) Standl., under nursery shading and gas exchange after being transferred to full sunlight. **Agroforestry Systems**, v. 78, n. 3, p. 287-298, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10457-009-9235-9>. Acesso em: 7 jun. 2025.

FALCIONI, R.; MORIWAKI, T.; OLIVEIRA, D. M.; ANDREOTTI, G. C.; SOUZA, L. A.; SANTOS, W. D.; BONATO, C. M.; ANTUNES, W. C. Increased gibberellins and light levels promote cell wall thickness and enhance lignin deposition in xylem fibers. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, art. 1391, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01391>. Acesso em: 14 jun. 2025.

FELSEMBURGH, C. A. A.; SANTOS, K. J. dos; CAMARGO, P. B. de; CARMO, J. B. do; TRIBUZY, E. S. Respostas ecofisiológicas de *Aniba parviflora* ao sombreamento. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 36, n. 87, p. 201-210, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.4336/2016.pfb.36.87.964>. Acesso em: 6 jun. 2025.

FERREIRA, E.; CAVALCANTI, P.; NOGUEIRA, D. ExpDes: an R package for ANOVA and experimental designs. **Applied Mathematics**, v. 5, p. 2952-2958, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4236/am.2014.519280>. Acesso em: 16 jul. 2025.

FORMISANO, L.; MIRAS-MORENO, B.; CIRIELLO, M.; ZHANG, L.; DE PASCALE, S.; LUCINI, L.; ROUPHAEL, Y. Between light and shading: morphological, biochemical, and metabolomics insights into the influence of blue photosensitive shading on vegetable seedlings. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 890830, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.890830>. Acesso em: 30 abr. 2025.

GROSSIORD, C.; BUCKLEY, T. N.; CERNUSAK, L. A.; NOVICK, K. A.; POULTER, B.; SIEGWOLF, R. T. W.; SPERRY, J. S.; McDOWELL, N. G. Plant responses to rising vapor pressure deficit. **New Phytologist**, v. 226, n. 6, p. 1550-1566, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/nph.16485>. Acesso em: 18 jun. 2025.

HAMMERTON, R. D.; NICANDER, B.; TILLBERG, E. Irradiance-induced alterations of growth and cytokinins in *Phaseolus vulgaris* seedlings. **Plant Growth Regulation**, v. 25, p. 63-69, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1005934301027>. Acesso em: 15 jun. 2025.

HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E.; DAVIES, F. T.; GENEVE, R. L. **Hartmann & Kester's plant propagation: principles and practices**. 8. ed. Boston: Pearson Education, 2014. Acesso em: 23 abr. 2025.

IACONA, C.; MULEO, R. Light quality affects in vitro adventitious rooting and ex vitro performance of cherry rootstock 'Colt'. **Scientia Horticulturae**, v. 125, n. 4, p. 630-636, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.05.018>. Acesso em: 2 mai. 2025.

IGLESIAS, M. J.; SELLARO, R.; ZURBRIGGEN, M. D.; CASAL, J. J. Multiple links between shade avoidance and auxin networks. **Journal of Experimental Botany**, v. 69, n. 2, p. 213-228, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jxb/erx295>. Acesso em: 14 jun. 2025.

ILIĆ, Z. S.; FALLIK, E. Light quality manipulation improves vegetable quality at harvest and postharvest: A review. **Environmental and Experimental Botany**, v. 139, p. 79-90, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.04.006>. Acesso em: 30 abr. 2025.

ILIĆ, Z. S.; MILENKOVIĆ, L.; ŠUNIĆ, L.; FALLIK, E. Effect of coloured shade-nets on plant leaf parameters and tomato fruit quality. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, n. 13, p. 2660–2667, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jsfa.7000>. Acesso em: 20 mai. 2025.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas** – Período: 01 jan. 2024 a 31 dez. 2024. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 24 jun. 2025.

KANMEGNE, G.; MBOUOBDA, H. D.; FOTSO, K.; KAMTAT, G. F.; OMOKOLO, D. N. Interaction of stockplants shading and exogenous auxin on the propagation of *Cola anomala* K. Schum (Malvaceae) by cuttings. **South African Journal of Botany**, v. 112, p. 246-252, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.06.005>. Acesso em: 19 jun. 2025.

KUHN, B. M.; NODZYŃSKI, T.; ERRAFI, S.; BUCHER, R.; GUPTA, S.; ARYAL, B.; DOBREV, P.; BIGLER, L.; GEISLER, M.; ZAŽÍMALOVÁ, E.; FRIML, J.; RINGLI, C. Flavonol-induced changes in PIN2 polarity and auxin transport in the *Arabidopsis thaliana* roll-2 mutant require phosphatase activity. **Scientific Reports**, v. 7, art. 41906, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/srep41906>. Acesso em: 6 jun. 2025.

KUMARI, P.; THAKUR, R.; SINGH, N.; RASTOGI, A.; YADAV, S. Relationships of oxidative stress and ultraviolet-B radiation in plants. In: KATARIA, S.; SINGH, V. P. (org.). **UV-B radiation and crop growth**. Singapore: Springer, 2022. p. 277-291. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-19-3620-3_13. Acesso em: 23 abr. 2025.

KÜPERS, J. J.; OSKAM, L.; PIERIK, R. Photoreceptors regulate plant developmental plasticity through auxin. **Plants**, v. 9, n. 8, art. 940, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants9080940>. Acesso em: 14 jun. 2025.

LIM, Y. J.; EOM, S. H. Effects of different light types on root formation of *Ocimum basilicum* L. cuttings. **Scientia Horticulturae**, v. 164, p. 552-555, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.09.057>. Acesso em: 2 mai. 2025.

- LÓPEZ, J.; WAY, D. A.; SADOK, W. Systemic effects of rising atmospheric vapor pressure deficit on plant physiology and productivity. **Global Change Biology**, v. 27, n. 9, p. 1704-1720, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gcb.15548>. Acesso em: 18 jun. 2025.
- MA, J.; LI, X.; HE, M.; LI, Y.; LU, W.; LI, M.; SUN, B.; ZHENG, Y. A joint transcriptomic and metabolomic analysis reveals the regulation of shading on lignin biosynthesis in asparagus. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 2, art. 1539, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms24021539>. Acesso em: 14 jun. 2025.
- MA, Y.; MA, X.; GAO, X.; WU, W.; ZHOU, B. Light Induced Regulation Pathway of Anthocyanin Biosynthesis in Plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 20, p. 11116, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms222011116>. Acesso em: 7 mai. 2025.
- MANJA, K.; AOUN, M. The use of nets for tree fruit crops and their impact on the production: A review. **Scientia Horticulturae**, v. 246, p. 110-122, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.050>. Acesso em: 30 abr. 2025.
- MAYNARD, B. K.; BASSUK, N. L. Effects of stock plant etiolation, shading, banding, and shoot development on histology and cutting propagation of *Carpinus betulus* L. *fastigiata*. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 121, n. 5, p. 853-860, 1996. Disponível em: <https://doi.org/10.21273/JASHS.121.5.853>. Acesso em: 19 jun. 2025.
- MENG, L.; SONG, W.; LIU, S.; DONG, J.; ZHANG, Y.; WANG, C.; XU, Y.; WANG, S. Light quality regulates lateral root development in tobacco seedlings by shifting auxin distributions. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 34, n. 3, p. 574-583, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00344-015-9491-z>. Acesso em: 2 mai. 2025.
- MITTLER, R.; VANDERAUWERA, S.; SUZUKI, N.; MILLER, G.; TOGNETTI, V. B.; VANDEPOELE, K.; GOLLERY, M.; SHULAEV, V.; VAN BREUSEGEM, F. ROS signaling: The new wave? **Trends in Plant Science**, v. 16, n. 6, p. 300-309, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2011.03.007>. Acesso em: 14 jun. 2025.
- MUPAMBI, G.; MUSACCHI, S.; SERRA, S.; KALCSITS, L. A.; LAYNE, D. R.; SCHMIDT, T. Protective netting improves leaf-level photosynthetic light use efficiency in “Honeycrisp” apple under heat stress. **HortScience**, v. 53, n. 10, p. 1416-1422, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI13096-18>. Acesso em: 30 abr. 2025.
- NAVROSKI, M. C.; SCHICORA, L.; PEREIRA, M. de O.; SILVA, J. J. das N.; DUARTE, L. F. C.; SCHILISTING, T. Influence of shadowing in *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl. mini-stumps and mini-cuttings. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 69, n. 4, p. 443-448, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0034-737X202269040008>. Acesso em: 19 jun. 2025.
- NISSIM-LEVI, A.; OVADIA, R.; KAGAN, S.; OREN-SHAMIR, M. Shading stock plants with photoselective nets affects the yield and rooting quality of their cuttings. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, v. 89, n. 6, p. 693-699, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/14620316.2014.11513139>. Acesso em: 13 jun. 2025.

PACHOLCZAK, A.; JEĐRZEJUK, A.; SOBCHAK, M. Shading and natural rooting biostimulator enhance potential for vegetative propagation of dogwood plants (*Cornus alba* L.) via stem cuttings. **South African Journal of Botany**, v. 109, p. 34-41, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.12.009>. Acesso em: 19 jun. 2025.

PACHOLCZAK, A.; SZYDŁO, W.; ŁUKASZEWSKA, A. The effect of etiolation and shading of stock plants on rhizogenesis in stem cuttings of *Cotinus coggygria*. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 27, n. 4, p. 417-428, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11738-005-0046-y>. Acesso em: 19 jun. 2025.

PACHOLCZAK, A.; SZYDŁO, W.; ŁUKASZEWSKA, A. The effect of shading of stock plants on rhizogenesis in stem cuttings of *Berberis thunbergii* 'Red Rocket'. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 28, n. 6, p. 567-575, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11738-006-0052-8>. Acesso em: 19 jun. 2025.

PASZTERNÁK, T.; PALME, K.; PÉREZ-PÉREZ, J. M. Role of reactive oxygen species in the modulation of auxin flux and root development in *Arabidopsis thaliana*. **The Plant Journal**, v. 114, n. 1, p. 83-95, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/tpj.16118>. Acesso em: 14 jun. 2025.

PEDROSO, E. J. **Enraizamento de miniestacas e ecofisiologia de mudas de Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis submetidas a diferentes intensidade de radiação solar**. 2016. 49 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2016. Disponível em: <http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/9803>. Acesso em: 9 jun. 2025.

PEDROSO, E. J. **Efeito do sombreamento automatizado no enraizamento de miniestacas de Eucalyptus**. 2021. 105 f. Tese (Doutorado em Meteorologia Aplicada) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2021. Disponível em: <https://locus.ufv.br/handle/123456789/28507>. Acesso em: 15 abr. 2025.

PEER, W. A.; BANDYOPADHYAY, A.; BLAKESLEE, J. J.; MAKAM, S. N.; CHEN, R. J.; MASSON, P. H.; MURPHY, A. S. Variation in expression and protein localization of the PIN family of auxin efflux facilitator proteins in flavonoid mutants with altered auxin transport in *Arabidopsis thaliana*. **The Plant Cell**, v. 16, n. 7, p. 1898-1911, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1105/tpc.021501>. Acesso em: 13 jun. 2025.

POORTER, H.; NIINEMETS, Ü.; NTAGKAS, N.; SIEBENKÄS, A.; MÄENPÄÄ, M.; MATSUBARA, S.; PONS, T. L. A meta-analysis of plant responses to light intensity for 70 traits ranging from molecules to whole plant performance. **New Phytologist**, v. 223, n. 3, p. 1073-1105, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/nph.15754>. Acesso em: 5 jun. 2025.

POUDEL, P. R.; KATAOKA, I.; MOCHIOKA, R. Effect of red- and blue-light-emitting diodes on growth and morphogenesis of grapes. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 92, n. 2, p. 147-153, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11240-007-9317-1>. Acesso em: 2 mai. 2025.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Áustria, 2025. Disponível em: <https://www.r-project.org>. Acesso em: 2 mai. 2025.

ROMAN, H.; GIRAULT, T.; BARBIER, F.; PÉRON, T.; BROUARD, N.; PĚNČÍK, A.; NOVÁK, O.; VIAN, A.; SAKR, S.; LOTHIER, J.; LE GOURRIEREC, J.; LEDUC, N. Cytokinins are initial targets of light in the control of bud outgrowth. **Plant Physiology**, v. 172, n. 1, p. 489-509, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.16.00530>. Acesso em: 2 mai. 2025.

RUEDELL, C. M.; DE ALMEIDA, M. R.; FETT-NETO, A. G. Concerted transcription of auxin and carbohydrate homeostasis-related genes underlies improved adventitious rooting of microcuttings derived from far-red treated *Eucalyptus globulus* Labill mother plants. **Plant physiology and biochemistry**, v. 97, p. 11-19, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.09.005>. Acesso em: 28 abr. 2025.

SHAHAK, Y. Photosensitive netting: an overview of the concept, research and development and practical implementation in agriculture. **Acta Horticulturae**, v. 1015, p. 155-162, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1015.17>. Acesso em: 30 abr. 2025.

SHARMA, A.; SHARMA, B.; HAYES, S.; KERNER, K.; HOECKER, U.; JENKINS, G. I.; FRANKLIN, K. A. UVR8 disrupts stabilisation of PIF5 by COP1 to inhibit plant stem elongation in sunlight. **Nature Communications**, v. 10, art. 4417, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12369-1>. Acesso em: 14 jun. 2025.

SHEN, Y.; FAN, K.; WANG, Y.; WANG, H.; DING, S.; SONG, D.; SHEN, J.; LI, H.; SONG, Y.; HAN, X.; QIAN, W.; MA, Q.; DING, Z. Red and blue light affect the formation of adventitious roots of tea cuttings (*Camellia sinensis*) by regulating hormone synthesis and signal transduction pathways of mature leaves. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 943662, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.943662>. Acesso em: 2 mai. 2025.

SIVAKUMAR, D.; JIFON, J. Influence of photosensitive shade nettings on postharvest quality of vegetables. In: **Preharvest Modulation of Postharvest Fruit and Vegetable Quality**. [S. l.]: Elsevier, 2018. p. 121–138. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809807-3.00005-6>. Acesso em: 30 abr. 2025.

SIVAKUMAR, D.; JIFON, J.; SOUNDY, P. Spectral quality of photo-selective shade nettings improves antioxidants and overall quality in selected fresh produce after postharvest storage. **Food Reviews International**, v. 34, n. 3, p. 290-307, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/87559129.2017.1298124>. Acesso em: 30 abr. 2025.

STOKES, C.; BASSUK, N.; MILLER, B. Light reduction, banding, and IBA treatments influence adventitious rooting of *Lindera benzoin* stem cuttings. **HortScience**, v. 58, n. 5, p. 506-512, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI17022-22>. Acesso em: 19 jun. 2025.

SYROS, T. D.; YUPSANIS, T. A.; ECONOMOU, A. S. Expression of peroxidases during seedling growth in *Ebenus cretica* L. as affected by light and temperature treatments. **Plant Growth Regulation**, v. 46, n. 2, p. 143-151, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10725-005-8087-1>. Acesso em: 14 jun. 2025.

TAIZ, L.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A.; ZEIGER, E. **Plant Physiology and Development**. 7. ed. New York, NY, USA: Sinauer Associates; Oxford University Press, 2022.

VANHAELEWYN, L.; PRINSEN, E.; VAN DER STRAETEN, D.; VANDENBUSSCHE, F. Hormone-controlled UV-B responses in plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 67, n. 15, p. 4469-4482, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jxb/erw261>. Acesso em: 14 jun. 2025.

WANG, Y.; GAO, L.; SHAN, Y.; LIU, Y.; TIAN, Y.; XIA, T. Influence of shade on flavonoid biosynthesis in tea (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze). **Scientia Horticulturae**, v. 141, p. 7–16, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.04.013>. Acesso em: 14 jun. 2025.

WU, L.; ZHANG, W.; DING, Y.; ZHANG, J.; CAMBULA, E. D.; WENG, F.; LIU, Z.; DING, C.; TANG, S.; CHEN, L.; WANG, S.; LI, G. Shading contributes to the reduction of stem mechanical strength by decreasing cell wall synthesis in japonica rice (*Oryza sativa* L.). **Frontiers in Plant Science**, v. 8, art. 881, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00881>. Acesso em: 14 jun. 2025.

XAVIER, A.; WENDLING, I.; DA SILVA, R. L. **Silvicultura Clonal: princípios e técnicas**. 3. ed. Viçosa – MG: Editora UFV, 2021. 275 p.

ZHAI, S.; CAI, W.; XIANG, Z.-X.; CHEN, C.-Y.; LU, Y.-T.; YUAN, T.-T. PIN3-mediated auxin transport contributes to blue light-induced adventitious root formation in *Arabidopsis*. **Plant Science**, v. 312, p. 111044, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2021.111044>. Acesso em: 2 mai. 2025.

ZORATTI, L.; JAAKOLA, L.; HÄGGMAN, H.; GIONGO, L. Modification of sunlight radiation through colored photo-selective nets affects anthocyanin profile in *Vaccinium* spp. berries. **PLOS ONE**, v. 10, n. 8, p. e0135935, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0135935>. Acesso em: 30 abr. 2025.

3. CONCLUSÕES GERAIS

Com base nos objetivos propostos neste trabalho, que avaliou o uso de telas fotosselativas e convencional no minijardim clonal sobre aspectos produtivos, bioquímicos e morfológicos, bem como seu uso no enraizamento em casa de vegetação de clones híbridos de *Corymbia citriodora* × *C. torelliana* (C1 e C2) e de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* (E1), pode-se concluir que:

1. O sombreamento no minijardim influenciou o desenvolvimento das miniestacas, com respostas distintas entre os materiais genéticos. As telas reduziram os efeitos de algumas variáveis morfológicas e bioquímicas, mas estimularam adaptações como o aumento da razão de área foliar e a elevação nos teores de pigmentos fotossintéticos. A produtividade foi mantida mesmo sob menor irradiância, destacando-se o clone E1 (*Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*) pela maior plasticidade fisiológica e desempenho geral.
2. No enraizamento das miniestacas em casa de vegetação, o sombreamento em ambos os ambientes de propagação foi essencial para maximizar a rizogênese, sobretudo nos clones de *Corymbia citriodora* × *C. torelliana*., mais sensíveis ao ambiente. A redução da irradiância contribuiu para um microclima mais favorável, e pode ter promovido ajustes fisiológicos, hormonais e anatômicos que favoreceram a formação de raízes. A intensidade luminosa, mais do que a qualidade espectral das telas, foi o principal fator associado ao sucesso da propagação clonal.