

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

THALIA SCHILISTING

**SUPLEMENTAÇÃO DE LUZ LED E DIFERENTES AMBIENTES
DE CULTIVO NA MINIESTAQUIA DE *Eucalyptus dunnii* Maiden**

**LAGES-SC
2025**

THALIA SCHILISTING

**SUPLEMENTAÇÃO DE LUZ LED E DIFERENTES AMBIENTES
DE CULTIVO NA MINIESTAQUIA DE *Eucalyptus dunnii* Maiden**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal, área de concentração em Produção Florestal. Orientador: Dr. Marcio Carlos Navroski. Coorientadora: Dra. Luciana Magda de Oliveira.

**LAGES-SC
2025**

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Universitária Udesc,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Schilisting , Thalia
SUPLEMENTAÇÃO DE LUZ LED E DIFERENTES
AMBIENTES DE CULTIVO NA MINIESTAQUIA DE *Eucalyptus
dunnii* Maiden / Thalia Schilisting . -- 2025.
60 p.

Orientador: Márcio Carlos Navroski
Coorientador: Luciana Magda de Oliveria
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2025.

1. propagação clonal. 2. enraizamento de miniestacas. 3.
suplementação luminosa. 4. produtividade de brotos. I. Carlos
Navroski , Márcio . II. Magda de Oliveria , Luciana . III.
Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Florestal. IV. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu sol, que é Deus, por me proporcionar o despertar de cada dia e saúde para seguir nossos planos.

À universidade do estado de Santa Catarina, especialmente ao Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) e ao Programa de pós-graduação em engenharia Florestal (PPGEF) pelo acesso ao ensino de qualidade e a CAPES pela concessão de bolsa durante todo o período dessa pesquisa.

Ao meu professor, Márcio Carlos Navroski por ser excepcional na missão de orientador, para além da academia, igualmente minha gratidão se estende a Mari, obrigada por todo o apoio durante essa trajetória que teve início na graduação. E agradeço também ao pequeno Théo, por toda felicidade que sua chegada trouxe.

Aos meus fiéis amigos parceiros de coleta, Alexandra, Daniel e Valéria, e outros tantos que ajudaram em coletas pontuais. Grata por todo o apoio na preparação de inúmeras miniestacas, por dividiram esses dias desafiadores e de muito trabalho comigo, sob incentivo daquele delicioso pastel com suco natural.

A minha família, minha maior rede de apoio, por todo o carinho e incentivo durante esses anos dedicados aos meus estudos, obrigada por tudo meu papi Orli, mame Luciani e maninho Lucas. Amo muitos vocês.

A empresa Klabin pela parceria nesse projeto e auxílio na condução dos experimentos, especialmente aos colaboradores do viveiro de pesquisa da unidade de Otacílio Costa por toda a ajuda na logística e realização das coletas quinzenais.

A meus amigos mais íntimos, por dividirem momentos que dão o real sentido á vida, em especial agradeço ao meu amigo Djeison Felipe Voos, por idealizar e organizar as melhores viagens.

Aos meus amigos do LAPROME e tantas outras pessoas queridas que cruzaram meu caminho nesse período e contribuíram para essa realização, muito obrigada.

RESUMO

O cultivo de espécies do gênero *Eucalyptus* é amplamente praticado no Brasil e este sucesso deve-se a programas avançados de melhoramento genético e propagação clonal, especialmente pela técnica de miniestaqueira, que maximiza o enraizamento e a qualidade das mudas. Na região sul do país as condições climáticas, como baixas temperaturas e menor luminosidade no inverno, afetam negativamente a produção de mudas. Por isso, a suplementação com luz artificial, especialmente LEDs, é uma alternativa para garantir a produção de miniestacas durante períodos críticos. Este estudo teve por objetivo investigar o efeito da suplementação por luz artificial fornecido por lâmpadas LEDs em diferentes ambientes de cultivo de minijardim na propagação clonal de *Eucalyptus dunnii* Maiden. O experimento foi realizado no Viveiro de Pesquisa da empresa Klabin SA, em Otacílio Costa, SC-Brasil, região com clima temperado úmido (Cfb), com ocorrência recorrente de dias nublados, principalmente no outono e inverno. Utilizou-se blocos ao acaso em esquema bifatorial 4X4 (fator A luzes; fator B ambientes de cultivos). Testou-se quatro tipos de iluminação: LED azul, LED vermelho, combinação de ambas e ausência de luz artificial (controle/luz natural). Diferentes condições de ambiente de cultivo foram avaliadas: com ou sem estufim e com ou sem aquecimento no leito de areia. Realizou-se coletas de dados quinzenalmente. Em cada coleta foram preparadas 27 miniestacas por tratamento, utilizadas no experimento de enraizamento. Também foram feitas podas de manejo e contagem das miniestacas com potencial de enraizamento para avaliação da produtividade de brotos por minicepa, além da contagem das minicepas vivas. Avaliou-se o grau de severidade do fungo *Oidium eucalypti*, e contagem de minicepas improdutivas. Também foram avaliadas variáveis fotossintéticas: taxa de assimilação líquida (A), condutância estomática (g_s), transpiração (E), relação entre a concentração intercelular e atmosférica de CO_2 (C_i/C_a) e eficiência no uso da água (WUE). Quanto aos resultados, no inverno, o ambiente tradicional apresentou a melhor média de sobrevivência (50%), enquanto o estufim combinado com aquecimento interferiu negativamente (27,40%). O ambiente estufim combinado com aquecimento apresentou a menor média de sobrevivência de minicepas em todas as estações. Para produtividade de brotos por metro quadrado, não houve interação entre os tratamentos de suplementação por luz LED e ambientes de cultivo. Isoladamente, o fator correspondente aos ambientes de cultivo apresentou diferença entre si. O estufim destacou-se por obter bons resultados em todas as estações estudadas. Observou-se uma oscilação de produtividade de brotos por minicepa ao longo do estudo. Para a variável enraizamento de miniestacas, justamente na estação mais crítica para a produção de mudas (inverno) houve interação entre a suplementação por luz LED e o ambiente de cultivo com aquecimento, miniestacas oriundas do ambiente aquecimento suplementadas com luz azul apresentaram maior porcentagem de enraizamento (34,38%), no entanto, não diferiram significativamente daquelas suplementadas com luz azul combinada com vermelha (16,82%) e com apenas luz natural (28,64%). A relação entre a sazonalidade da região sul e o potencial de enraizamento é evidenciado no estudo, tendo em vista os contrastantes valores obtidos em estações quentes (verão) com aproximadamente 60% de enraizamento e estações frias (inverno) que apresentou uma média geral de menor do que 30% de enraizamento. Quanto aos resultados para as variáveis fotossintéticas, direcionando para a estação mais crítica, observa-se a diminuição da taxa de assimilação líquida e sua relação com as demais variáveis. Conclui-se que a produtividade de brotos por minicepa é influenciada principalmente pelo ambiente de cultivo, sendo o estufim a opção mais eficaz, especialmente nas estações mais frias. A luz LED não teve impacto significativo na produção de brotos e demais variáveis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1** – Demonstração esquemática de canaletão com suplementação de luz (LED)
- Figura 2** – Demonstração visual dos tratamentos, T1: luz natural (controle); T2: LED Azul, T3: LED Azul/Vermelho; T4: LED Vermelho
- Figura 3** – Processo de preparação e estaqueamento de miniestacas de *Eucalyptus dunnii*. (A: 27 miniestacas confeccionadas, B: especificação do tamanho da miniestaca, C:estaqueamento das miniestacas)
- Figura 4** – Escala visual de severidade do ataque de oídio em folhas de minicepas de *Eucalyptus dunnii*
- Figura 5** - Procedimento de avaliação de trocas gasosas em *Eucalyptus dunnii* com o IRGA
- Figura 6** - Dados das temperaturas (°C) médias, máximas e mínimas, e intensidade de luz (Lux) ao longo do ano de avaliação do experimento no tratamento estufim associado ao aquecimento
- Figura 7** - Dados das temperaturas (°C) médias, máximas e mínimas, e intensidade de luz(Lux) ao longo do ano de avaliação do experimento no tratamento sistema tradicional
- Figura 8** - Sobrevivência de minicepas em relação aos fatores luz LED e ambientes de cultivo na primavera
- Figura 9** - Sobrevivência de minicepas em relação aos fatores luz LED e ambientes de cultivo no verão
- Figura 10** - Sobrevivência de minicepas em relação aos faotres luz LED e ambientes de cultivo no outono
- Figura 11** - Sobrevivência de minicepas em relação aos fatores luz LED e ambientes de cultivo no inverno
- Figura 12** – Produtividade de brotos por metro quadrado em relação aos fatores luz LED e ambientes de cultivo na primavera
- Figura 13** – Produtividade de brotos por metro quadrado em relação aos fatores luz LED e ambientes de cultivo no verão
- Figura 14** – Produtividade de brotos por metro quadrado em relação aos fatores luz LED e ambientes de cultivo no outono
- Figura 15** – Produtividade de brotos por metro quadrado em relação aos fatores luz LED e ambientes de cultivo no inverno

Figura 16 – Enraizamento de miniestacas de *Eucalyptus dunnii* em relação aos fatores luz LED e ambientes de cultivo na primavera

Figura 17 – Enraizamento de miniestacas de *Eucalyptus dunnii* em relação aos fatores luz LED e ambientes de cultivo no verão

Figura 18 – Enraizamento de miniestacas de *Eucalyptus dunnii* em relação aos fatores luz LED e ambientes de cultivo no outono

Figura 19 – Enraizamento de miniestacas de *Eucalyptus dunnii* em relação à interação entre os fatores luz LED e ambientes de cultivo no inverno

Figura 20 – Grau de ataque do fungo *Oidium eucalypti* nas minicepas de *Eucalyptus dunnii* ao longo dos meses de avaliação do estudo em relação aos ambientes de cultivo

Figura 21 – Exemplares de minicepas de *Eucalyptus dunnii* com presença do fungo *Oidium eucalypti*

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificações das lâmpadas LED utilizadas no experimento em minijardim clonal com *Eucalyptus dunnii*.

Tabela 2 – Especificações dos sistemas de ambiente utilizados no experimento em minijardim clonal com *Eucalyptus dunnii*.

Tabela 3 – Comparativo da porcentagem de minicepas vivas e minicepas com deficiência de acordo com o ambiente de cultivo nas estações do ano

Tabela 4 - Avaliação de variáveis fisiológicas em função do uso de LEDs e ambientes de cultivo na primavera

Tabela 5 - Avaliação de variáveis fisiológicas em função do uso de LEDs e ambientes de cultivo no verão

Tabela 6 - Avaliação de variáveis fisiológicas em função do uso de LEDs e ambientes de cultivo no outono

Tabela 7 - Avaliação de variáveis fisiológicas em função do uso de LEDs e ambientes de cultivo no inverno

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	9
OBJETIVO GERAL	11
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
O GÊNERO <i>Eucalyptus</i>	12
<i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden.....	13
DIFERENTES AMBIENTES DE CULTIVO.....	14
SUPLEMENTAÇÃO LUZ LED.....	16
MINIESTAQUIA.....	17
MATERIAIS E MÉTODOS	19
Área de estudo	19
Experimento	20
Variáveis fisiológicas	25
Variáveis ambientais	26
Análises estatísticas	27
RESULTADOS.....	27
SOBREVIVÊNCIA DE MINICEPAS	27
PRODUTIVIDADE DE BROTOS	30
ENRAIZAMENTO	33
MINICEPAS COM DEFICIÊNCIA E GRAU DE ATAQUE DO <i>Oidium eucalypti</i>	36
VARIÁVEIS FISIOLÓGICAS	38
DISCUSSÃO	45
Sobrevivência de minicepas	45
Produtividade de brotos por minicepa	46
Enraizamento	48
Variáveis fisiológicas	49
CONCLUSÕES	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA.....	53

INTRODUÇÃO

O gênero *Eucalyptus* pertence à família Myrtaceae e possui cerca de 700 espécies e subespécies, quase todas nativas da Austrália. O gênero se destaca pelas características de rápido crescimento, alta produtividade, ampla diversidade de espécies, grande capacidade de adaptação e aplicação para diversas finalidades, sendo amplamente utilizado para plantios florestais comerciais (Correia, 2011).

Espécies do gênero *Eucalyptus* apresentam rápido crescimento e rendimento industrial. São plantadas em cerca de 22 milhões de hectares em aproximadamente uma centena de países (Zhang; Wang, 2021). No Brasil, no ano de 2023, a área total dedicada ao plantio de árvores ultrapassou pela primeira vez os 10 milhões de hectares, cerca de 76% da área (7,8 milhões de hectares) sendo composta pelo cultivo de eucalipto. Esse número representa um crescimento de 41% nos últimos dez anos, evidenciando a crescente importância dessa cultura na economia florestal brasileira. (Ibá, 2024).

O sucesso da produtividade dos plantios de *Eucalyptus* no Brasil resulta da combinação de diversos fatores, incluindo programas de silvicultura clonal bem estabelecidos, estratégias de melhoramento genético em constante desenvolvimento, produção de híbridos específicos, seleção de clones elite e o avanço das tecnologias da propagação clonal (Xavier et al., 2013). Esses avanços não só aumentaram a eficiência dos plantios, como também posicionaram o Brasil como líder global na produção de madeira de *Eucalyptus*. A propagação clonal de eucaliptos por meio de miniestacas é, sem dúvida, uma das técnicas mais utilizadas para obter plantações em escala comercial (Brondani et al. 2012). Em função do curto ciclo de produção deste gênero, a produção de mudas de qualidade é fundamental e, no Brasil, esta demanda é atendida predominantemente pela propagação clonal por meio da técnica de miniestaquia

Em regiões onde as estações são bem definidas, como nos extremos Sul e Norte, e os invernos são caracterizados pela diminuição da temperatura, fotoperíodos e umidade relativa do ar a produtividade dos sistemas de minijardim clonal é reduzida, limitando a disponibilidade de mudas nos períodos de plantio (setembro e outubro). Assim, identificar as condições ideais de luminosidade, temperatura e umidade relativa do ar para maximização do crescimento e desenvolvimento das mudas é fundamental, pois permite a elaboração de protocolos de propagação eficientes (Cunha et al., 2009; Altoé et al., 2011).

O Sul do Brasil abrange áreas com climas subtropicais, enquadrados como Cfa (Clima subtropical, com verão quente) e Cfb (Clima temperado, com verão ameno), de acordo com a classificação de Köppen (Alvares et al., 2013). As áreas elevadas dos estados de Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Paraná apresentam temperaturas relativamente baixas e número considerável de geadas, que afetam o cultivo de eucaliptos com baixa tolerância ao frio (Konzen et al., 2017). Estudos têm demonstrado que a produção de miniestacas em um minijardim clonal e o enraizamento delas variam devido às condições meteorológicas instáveis no sul do Brasil (Brondani et al. 2010; Brondani et al. 2012b; Pereira Pires et al. 2017).

O conhecimento das condições de luminosidade, temperatura e umidade relativa do ar ideais para o crescimento e desenvolvimento de vegetais é de suma importância para um eficiente protocolo de propagação, seja *in vitro*, seja diretamente no substrato, como terra ou vermiculita. A intensidade de luz pode influenciar fortemente a produção de brotos e o enraizamento de estacas por redução ou aumento de substâncias fenólicas endógenas, as quais podem agir como inibidores ou promotores, dependendo das concentrações nos tecidos e da espécie (Assis et al., 2004). A luminosidade é um dos principais fatores que influenciam a fotossíntese, a qual dirige a síntese de carboidratos, a partir do dióxido de carbono e água, com a liberação de oxigênio (Taiz e Zeiger, 2021).

A suplementação por luz artificial em minijardins clonais pode ser uma alternativa visando a maior produção de miniestacas, principalmente em períodos nos quais as condições climáticas não são favoráveis para tal finalidade. Existe uma variedade de fonte de luzes artificiais que são utilizadas para a produção de espécies cultivadas, incluindo as lâmpadas incandescentes, fluorescentes e as de alta descarga de intensidade (*high intensity discharge – HID*) (Landis et al., 2013). Atualmente, as lâmpadas LED, diodos emissores de luz (*light emitting diodes*), é a tecnologia mais recente para a suplementação de luz visando a produção de plantas cultivadas. Seu pequeno tamanho, maior durabilidade, maior vida útil, comprimento de onda específico, baixa emissão de calor e baixo consumo energético tornam essa fonte de luz ideal para a produção de plantas se comparada com às fontes tradicionais (Massa et al., 2008).

As lâmpadas de LED podem afetar a fisiologia das plantas, influenciando a fotossíntese, a síntese de compostos como clorofila, a emissão de novos brotos e seu enraizamento *in vitro* e crescimento *ex vitro* (Nhut e Nam 2010; Dutta Gupta e Jatothu 2013; Batista et al. 2015).

Portanto, é notório que as baixas temperaturas e os menores níveis de luminosidade comprometem diretamente a produção de miniestacas nos minijardins clonais, resultando também em menores taxas de enraizamento e maior incidência de doenças nas plantas. A suplementação por luz artificial em minijardins clonais pode ser uma alternativa para aumentar a produção de miniestacas, principalmente em períodos nos quais as condições climáticas não são favoráveis para tal finalidade (inverno na região sul), suprimindo a demanda necessária de mudas para a janela de plantio que corresponde aos meses de setembro a outubro, na estação seguinte.

Desse modo, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da suplementação com luz artificial, fornecida por diferentes lâmpadas LEDs, em diferentes ambientes de cultivo de minijardim clonal, na propagação de *Eucalyptus dunnii*.

OBJETIVO GERAL

O presente estudo teve por objetivo investigar o efeito da suplementação por luz artificial fornecido por lâmpadas LEDs em diferentes ambientes de cultivo de minijardim na propagação clonal de *Eucalyptus dunnii*.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a sobrevivência e produtividade das minicepas em função da suplementação por luz LED e ambientes de cultivo;
- Analisar a interação entre a iluminação LED e a temperatura controlada, verificando seus efeitos combinados no desempenho fisiológico e morfológico das minicepas.
- Avaliar a eficiência do enraizamento das miniestacas produzidas pelas minicepas sob diferentes condições de iluminação e controle de temperatura, determinando as melhores práticas para otimizar o processo.
- Gerar a recomendação de uso da luz artificial necessária em cada época do ano, e os efeitos gerais dos ambientes de cultivo das minicepas;

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O GÊNERO *Eucalyptus*

O gênero *Eucalyptus* pertence à família Myrtaceae. Atualmente, existem mais de 700 espécies reconhecidas botanicamente, apresentando diversas propriedades físicas e químicas da madeira distintas, fazendo com que o gênero tenha ampla gama de finalidades. (Embrapa, 2014). A semelhança de latitudes tropicais e subtropicais do Brasil e Austrália tornou possível a introdução de espécies do gênero *Eucalyptus* no Brasil, para fins comerciais (Silva, 2001)

Eucalyptus é um dos maiores gêneros de plantas do planeta, tendo sido descrito por L'Héritier em 1789. Nativo da Austrália, Papua-Nova Guiné, Timor Leste, Indonésia e Filipinas, com ocorrência nos mais diversos tipos de ambiente, em diferentes regiões, de tropicais até temperadas, extremamente úmidas a aquelas com baixos índices pluviométricos e até mesmo em pico de montanhas nevadas. Tanta diversidade permite encontrar táxons de até 90 metros de altura e com apenas 40 centímetros, com morfologia complexa em relação ao tronco, folhas, inflorescências, frutos e sementes (Flores et al., 2016).

O gênero *Eucalyptus* tem uma grande diversidade de espécies adaptadas a diferentes climas e solos. As espécies mais utilizadas no Sul do Brasil, em função das características de suas madeiras, são: *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus viminalis*, híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla* e *Eucalyptus dunnii*. Também nessa região, se destaca o potencial de utilização do *Eucalyptus benthamii*, devido a sua tolerância a geadas. O *E. benthamii* é a espécie comercial considerada mais tolerante a geadas, podendo, entretanto, sob condições extremas de frio (-7,2 °C) apresentar até 100% de queima de copa, como ocorrido em Santa Catarina em 2011, em árvores com 8 meses de idade. A segunda alternativa é *E. dunnii*, espécie sensivelmente menos tolerante ao frio do que *E. benthamii* (Paludzyszyn et al., 2006).

No geral, são espécies que possuem rápida velocidade de crescimento e dão origem a múltiplos produtos, como madeira, celulose, pasto apícola, biocombustível, óleo essencial e produtos químicos bioativos (Bousbaa et al., 2019; Brito et al., 2022; Moreira et al., 2022; Oliveira et al., 2021; Trueman et al., 2018). A árvore de eucalipto apresenta-se como uma das culturas florestais de madeira resistente mais importante economicamente (El-Baz et al., 2015).

O eucalipto foi introduzido no Brasil em 1904, pelo pesquisador Edmundo Navarro de Andrade, que estudou a espécie com o objetivo de viabilizar o plantio em larga escala (Martini, 2010). A espécie teve grande aceitação no país, devido às extensas áreas ocupadas por ela. Segundo a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ), em 2023 a área total de árvores plantadas ultrapassou a marca de 10 milhões de hectares, crescimento de 3 % em relação ao ano anterior. Entre as espécies cultivadas, cerca de 76 % da área (7,8 milhões de hectares) é composta pelo cultivo de eucalipto (Ibá, 2023). As maiores áreas plantadas com o gênero *Eucalyptus* encontram-se nos estados de Minas Gerais (2,2 milhões ha), Mato Grosso do Sul (1,3 milhões ha) e São Paulo (1,0 milhão ha). O estado de Santa Catarina, encontra-se em 7º lugar, e detém cerca de 0,3 milhões de hectares plantados.

Eucalyptus dunnii Maiden

Eucalyptus dunnii Maiden possui ocorrência natural na Austrália, distribuindo-se em restritas áreas descontínuas na região de Coffs Harbour em New South Wales e no Sul de Queensland, entre as latitudes de 28° a 30° 15' S e altitudes de 220 a 860 m. O clima da região é quente e úmido, mas sujeito a frequentes geadas no inverno (20 a 60 vezes ao ano), cujos intervalos de temperaturas médias, máximas e mínimas são de 24 a 29 ° C e 2 a 5 ° C, respectivamente (Brooker e Kleinig, 2006; Fonseca et al., 2010).

O *E. dunnii*, também chamado de Eucalyptus-cidra é uma árvore perenifólia que chega de 30 a 45 metros de tronco ereto e cilíndrico, com casca lisa, rosa acinzentadas na base, verde-acinzentada na região superior, descamado em placas longas, finas e enroladas, ramagem aberta ou ascendente formando copa alongada e moderadamente densa (Bentec, 2017). Avaliações realizadas em *E. dunnii* aos 10 anos mostram que a espécie tem índices de sítio maiores em solos com textura gradacional e menores em solos com mudança textural, já solos uniformes foram intermediários, pois contemplam tanto solos bem, quanto mal drenados ou mesmo estruturados ou com estrutura fraca (Grant et al., 2010).

Segundo dados levantados por Paludzyszyn Filho et al. (2006), as espécies de eucalipto economicamente importantes para as condições mais frias do Brasil constituem um grupo muito restrito, e entre elas, o *Eucalyptus dunnii* apresenta boa aptidão, principalmente no que se refere à produção de madeira para fins energéticos e sólidos madeiráveis. Uma das dificuldade com a espécie é a produção de sementes, que é tardia, apresentando variação entre os anos e o aumento do florescimento com a idade. A

clonagem também é uma outra dificuldade da espécie, sendo essa uma característica da seção *Maidenaria* (Silva et al., 2018).

De acordo com Paiva et al. (2011), a madeira do *E. dunnii* é considerada muito semelhante à madeira de *E. grandis*, sendo que o seu principal aproveitamento está voltado para a indústria de papel e celulose. Devido a suas características silviculturais, a espécie pode ser considerada promissora, principalmente para plantios localizados na região Sul do país. Dobner Jr et al. (2017) relatam que o incremento médio anual (IMA) para a espécie aos 10 anos pode variar de 25 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ à 50 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, sendo este influenciado pelo sítio.

Esta espécie já foi estudada por Brondani et al. (2010) e Brondani et al. (2012), que verificaram em três híbridos diferentes respostas para a sobrevivência, enraizamento e produção de miniestacas, concluindo que essas variáveis são sensíveis as variações de temperatura, estações do ano, e que os materiais genéticos responderam de maneiras diferentes. A temperatura ótima para o enraizamento das miniestacas de *E. dunnii* é entre 28 e 33 °C, e a redução da temperatura também promove redução do enraizamento, consequentemente, reduzindo o número de mudas produzidas na estação fria (Trueman et al., 2013). A área foliar e produtividade do *E. dunnii* é influenciado pelas estações do ano e ganhos no enraizamento foram observados pelo uso do estufim (Batista et al., 2015).

DIFERENTES AMBIENTES DE CULTIVO

As condições ambientais interferem no desenvolvimento e produtividade das minicepas, em seus atributos fisiológicos e também influenciam na indução da rizogênese dos propágulos vegetativos, fator determinante na clonagem comercial (Alfenas et al., 2009; Hartmann et al., 2011). As condições ambientais, quando favoráveis, reduzem o estresse da planta matriz maximizando o processo fotossintético e, consequentemente, o aumento nas taxas de crescimento (Lima et al., 2022) O uso de minitúneis ou estufins sobre o minijardim clonal promove mudanças no ambiente próximo das plantas, como aumento da temperatura média, da umidade relativa do ar e do déficit de saturação do vapor d'água, possibilitando o controle dos efeitos adversos do clima (Batista et al., 2015). Na agricultura, horticultura e silvicultura esses túneis baixos confeccionados com arco e filme plástico reduz a perda de nutrientes por lixiviação, promove mudanças em processos fisiológicos das plantas, aumentam a produtividade, e aceleraram o desenvolvimento das plantas, diminuindo o tempo de colheita (Batista et al., 2015).

Técnicas que visam a melhoria da qualidade e da quantidade de brotações estão constantemente sendo desenvolvidas. A utilização de minitúnel (miniestufim) sobre o minijardim clonal é uma técnica que proporciona melhorias no processo de produção e enraizamento (Assis, 2011; Batista et al., 2015). Os estufins são constituídos de estrutura metálica em formato de túnel coberto com plástico transparente. O plástico transparente que é usado como cobertura para o minijardim clonal para manter o ambiente de cultivo das minicepas quente e úmido, o que promove melhorias na qualidade e na quantidade das miniestacas (Assis, 2011).

Apesar dos avanços, existem poucos estudos que relacionam a influência dos fatores ambientais na produção de brotos em minijardins clonais, bem como sobre os processos de enraizamento de miniestacas. Estudos desenvolvidos por Cunha (2009) reforçam que as condições meteorológicas condicionam significativamente a produção de miniestacas por minicepa. Em seus trabalhos, o autor observou que o aumento da temperatura no leito de cultivo, ocasionado pela época do ano, favoreceu positivamente a produção de miniestacas, independente do tipo de minijardim clonal (leito de areia ou tubete), reforçando a importância desses fatores.

Segundo Assis (2011), alguns resultados têm mostrado que o uso de estufins aumenta a produtividade das cepas e também o enraizamento, além de reduzir a formação de calos durante o processo de enraizamento das plantas. Batista et al. (2015) citam que estudos pioneiros usando estufins em cepas de eucalipto foram realizados em Minas Gerais e que foi observado melhoria significativa na qualidade do sistema de enraizamento de propágulos, aumentando a produção de estacas das cepas e o sucesso do enraizamento em clones de algumas espécies de eucalipto.

No minijardim clonal, Alfenas et al. (2009) destacam que a umidade excessiva deve ser evitada pois dificultam as trocas gasosas e propicia a incidência de doenças e a lixiviação de nutrientes, tornando as brotações fisiologicamente menos aptas ao enraizamento.

O *ascomicota Podosphaera pannosa* (Wallr.) de Bary, conhecido popularmente como oídio do eucalipto, é um dos principais patógenos biotróficos encontrados em viveiros florestais e se destaca devido à intensidade e danos causados (Alfenas et al., 2009). Os oídios são frequentemente encontrados sobre plantas nos minijardins clonais, com fertirrigação por gotejamento, onde há pouco molhamento foliar (Alfenas et al., 2009).

A sintomatologia desta doença se caracteriza pela formação de camada esbranquiçada

com aspecto pulverulento nas folhas, afetando os processos fotossintéticos da planta. Como consequência, ocorre a redução do número de miniestacas produzidas pelas cepas no minijardim clonal, além de interferir no enraizamento das estacas na casa de vegetação (Krugner, 2005). Este patógeno é responsável por diminuir o crescimento da planta em até 40% e reduzir sua qualidade (Bedendo, 2018).

SUPLEMENTAÇÃO LUZ LED

A luminosidade é um dos principais fatores que influenciam a fotossíntese, a qual dirige a síntese de carboidratos, a partir do dióxido de carbono e água, com a liberação de oxigênio (Taiz e Zeiger, 2008). As plantas respondem a luz visível por meio de dois mecanismos: fotossíntese, na qual a luz é capturada pelos pigmentos carotenóides e clorofila; e fotomorfogênese, na qual o fitocromo atua como um sensor ambiental mensurando o fotoperíodo (Landis et al., 2013). A intensidade de luz pode influenciar fortemente a produção de brotos e o enraizamento de estacas por redução ou aumento de substâncias fenólicas endógenas, as quais podem agir como inibidores ou promotores, dependendo das concentrações nos tecidos e da espécie (Assis et al., 2004). Segundo esses mesmos autores, a luz também pode afetar a concentração endógena de citocininas, que possuem funções inibidoras do enraizamento.

A luz é umas das variáveis mais complexas que limitam o crescimento das plantas, existindo dois tipos de fontes: luz natural e a luz artificial. A quantidade e a qualidade de luz solar diferem significativamente da luz artificial, pois a luz natural que as espécies cultivadas captam é diferente em termos de comprimento de onda (cor) e intensidade da qual os humanos percebem (Landis et al., 2013). As lâmpadas LED, diodos emissores de luz (*light emitting diodes*), é a tecnologia mais recente para a suplementação de luz visando a produção de plantas cultivadas. Seu pequeno tamanho, maior durabilidade, maior vida útil, comprimento de onda específico, baixa emissão de calor e baixo consumo energético tornam essa fonte de luz ideal para a produção de plantas se comparada com às fontes tradicionais (Massa et al., 2008).

O uso de lâmpadas LED tem sido recomendado por promover uma maior eficiência fotossintética por dois motivos principais: primeiro, o comprimento de onda no vermelho (600 a 700 nm) produzido é eficientemente absorvido pelos pigmentos das plantas e segundo, as lâmpadas vermelhas emitem luz a 660 nm, próximo do pico da absorção da clorofila. Além disso, a emissão de luz azul (400 a 500 nm) na região visível do espectro

magnético, é importante para a fotomorfogênese e controle estomático, as quais afetam as relações hídricas, trocas de CO₂, alongamento do caule e fototropismo (Massa et al., 2008).

Estudos avaliando a irradiância, o fotoperíodo e a qualidade da luz sobre o enraizamento de clones de espécies florestais na propagação clonal ainda são incipientes, e seus efeitos são influenciados principalmente pelas condições ambientais de cada local e das exigências de cada espécie (Xavier et al., 2013).

MINIESTAQUIA

A produção de mudas de *Eucalyptus* está consolidada e bem desenvolvida na propagação clonal, tendo a miniestaquia como principal técnica (Wendling; Dutra, 2010). A miniestaquia pode ser considerada uma variação da estaquia convencional (macroestaquia). Basicamente, consiste na utilização de brotações de plantas propagadas pelo processo de macroestaquia, ou mudas produzidas por sementes. Constitui-se o método mais adotado pelas grandes empresas florestais brasileiras para a clonagem de espécies de *Eucalyptus* e seus híbridos previamente selecionados em programa de melhoramento genético. Com a miniestaquia o processo de produção de mudas foi otimizado, pois a técnica reduz o período de produção, tendo em vista que algumas etapas do processo são eliminadas, tais como a de semeio, emergência, bem como o espaço físico dos viveiros (Brondani et al., 2010).

A miniestaquia apresenta vantagens em relação à estaquia, podendo-se citar a redução da área necessária para formação do minijardim clonal, redução dos custos com transporte e coleta das brotações, maior eficiência das atividades de manejo no minijardim clonal (irrigação, nutrição, manutenção e controle de pragas e doenças), além de proporcionar maior qualidade, velocidade e percentual de enraizamento das miniestacas (Xavier e Santos, 2002). A miniestaquia em eucalipto tem ampla aplicação na indústria florestal, incluindo a produção de mudas para reflorestamento, seleção e multiplicação de genótipos superiores e a propagação de plantas resistentes a pragas e doenças. Além disso, a miniestaquia é frequentemente utilizada em programas de melhoramento genético para acelerar o ciclo de seleção e reduzir os custos associados à manutenção de campos de polinização (Lima et al., 2022).

Os minijardins de *Eucalyptus* estabelecidos em viveiro são os mais empregados pelas empresas florestais, os quais têm apresentado desafios variados no atendimento à

produção comercial de mudas clonais (Xavier et al., 2013). A maximização da produção de miniestacas pelo processo de propagação clonal é influenciada principalmente pela produtividade de brotos e capacidade de enraizamento do material genético (Mafia et al., 2005). Portanto, acredita-se que, atualmente, os minijardins representam a principal fonte para o fornecimento de propágulos vegetativos, advindos do conjunto de minicepas de onde retiram-se as miniestacas.

Como principais avanços, essa técnica promoveu a redução das dimensões do jardim clonal, que passou a ser chamado de minijardim clonal. Ele pode ser implantado em sistema de recipientes, que variam desde vasos de polipropileno de diferentes volumes, caixas de fibra de vidro com variadas formas e dimensões, ou em sistemas de “canaletões” de fibrocimento, atualmente o mais utilizado pelas grandes empresas florestais (Higashi et al., 2002). Na miniestaquia, os propágulos vegetativos utilizados medem entre 4 e 8 cm de comprimento, com dois pares de folhas reduzidas à metade (Xavier et al., 2009). A manutenção das folhas ou parte delas, tem o objetivo de diminuir a área de transpiração, sem que a produção de carboidratos e auxinas sejam comprometidas, pois estas substâncias são essenciais ao enraizamento (Hartmann et al., 2014).

TROCAS GASOSAS

O sucesso das técnicas de propagação vegetativa, como as miniestacas, depende muito da capacidade da planta de manter a atividade fotossintética e regular a perda de água através dos estômatos. Qualquer desequilíbrio nas trocas gasosas pode levar à redução do enraizamento e ao fraco crescimento. (Taiz et al. 2015).

Entender como o ambiente influencia as variáveis fisiológicas, como o controle estomático, tem sido foco central de estudos de fisiologia vegetal por causa da relação entre abertura estomática e aquisição de carbono pela planta (Addington et al., 2004), sobretudo porque identificar essas modificações microclimáticas como a temperatura, a quantidade de luz, CO₂, nutrientes e o suprimento de água podem contribuir na compreensão sobre o crescimento das plantas (Otto et al., 2013).

A atividade fotossintética é responsável pela transformação de energia luminosa em energia química, utilizando água (H₂O) e gás carbônico (CO₂) na produção de carboidratos (C₂H₁₂O₆) com liberação de oxigênio (O₂) (Gruber, 2006). Ainda, a troca gasosa, processo ocorrente na fotossíntese, envolve processos biofísicos (abertura estomática), bioquímicos (sequestro do CO₂) e fotoquímicos (absorção de irradiância,

fluorescência da clorofila e quebra de moléculas de água em $4\text{H}^+ + \text{O}_2$) (Prado; Casali, 2006).

A condutância estomática é um parâmetro crítico na regulação da troca gasosa durante a propagação de estacas. Ela influencia diretamente a absorção de CO_2 para a fotossíntese e a perda de água por transpiração. Uma condutância estomática ótima garante um equilíbrio entre a assimilação de carbono e a conservação da água, sendo essencial para a sobrevivência e o enraizamento das estacas (Hartmann et al, 2014). Flexas e colaboradores (2016), destacam a importância da relação C_i/C_a como um indicador do equilíbrio entre a condutância estomática e a capacidade fotossintética. Em condições de estresse hídrico, as plantas ajustam o C_i/C_a fechando os estômatos para conservar água, o que pode limitar a fotossíntese. No entanto, manter uma relação C_i/C_a ótima é crucial para maximizar a eficiência no uso da água (WUE) e garantir o crescimento e a sobrevivência das plantas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

O experimento com suplementação de luz em minijardim clonal foi instalado no Viveiro de Pesquisa da empresa Klabin SA, localizada no município de Otacílio Costa, estado de Santa Catarina, Brasil. O local está situado no Planalto Sul Catarinense, com clima Cfb (temperado, subtropical úmido, com regularidade das chuvas ao longo de todo o ano) segundo a classificação de Köppen.

As temperaturas médias de mínima e máxima obtidas para esses períodos foram de $2,1\text{ }^\circ\text{C}$ e $29,3\text{ }^\circ\text{C}$, respectivamente. A umidade média registrada foi de 91,1%, enquanto a luminosidade média no período alcançou $90110,5\text{ Wh/m}^2$, de acordo com dados registrados pela estação meteorológica no viveiro, para a cidade de Otacílio Costa.

Destaca-se que a região apresenta uma alta incidência de dias nublados e nebulosos, o que reduz a disponibilidade de luz solar, especialmente nas estações analisadas neste estudo. Durante esses meses, são frequentes períodos de frio intenso. Para mitigar esses efeitos, a empresa adota casas de vegetação com minitúneis de plástico transparente dentro das instalações, contribuindo para a manutenção de temperaturas adequadas ao longo do inverno.

Experimento

As minicepas foram estabelecidas no sistema de minijardim clonal (estrutura de minitúneis do tipo canaletão, padrão utilizado pela empresa) sob diferentes ambientes de cultivo. Para instalação do experimento utilizou-se quatro minitúneis, distribuídos em duas casas de vegetação com cobertura de polietileno. Cada minitúnel é equipado com irrigação e fertirrigação controladas. O sistema de minijardim clonal foi suplementado com luzes LED azul, vermelha, e combinação das duas, constituído dos seguintes tratamentos (Tabela 1).

Tabela 1 – Especificações das lâmpadas LED utilizadas no experimento em minijardim clonal com *Eucalyptus dunnii*

Lâmpada	Especificação
Ausência	Luz natural
Azul	36", 1W, AC85 - 265 V, blue = 450 = 2:1, LED quantity: 36 pcs
Vermelha/Azul	36", 1W, AC85 - 265 V, red/blue = 660:450 = 2:1, LED quantity: 36 pcs
Vermelha	36", 1W, AC85 - 265 V, red/rose = 660:730 = 1:1, LED quantity: 36 pcs

As características detalhadas dos diferentes ambientes de cultivo que foram analisados ao longo do estudo estão organizadas na Tabela 2. Vale ressaltar que, nos tratamentos que recebiam aquecimento no leito de areia, o mesmo era acionado automaticamente na faixa de temperatura inferior a 15°C.

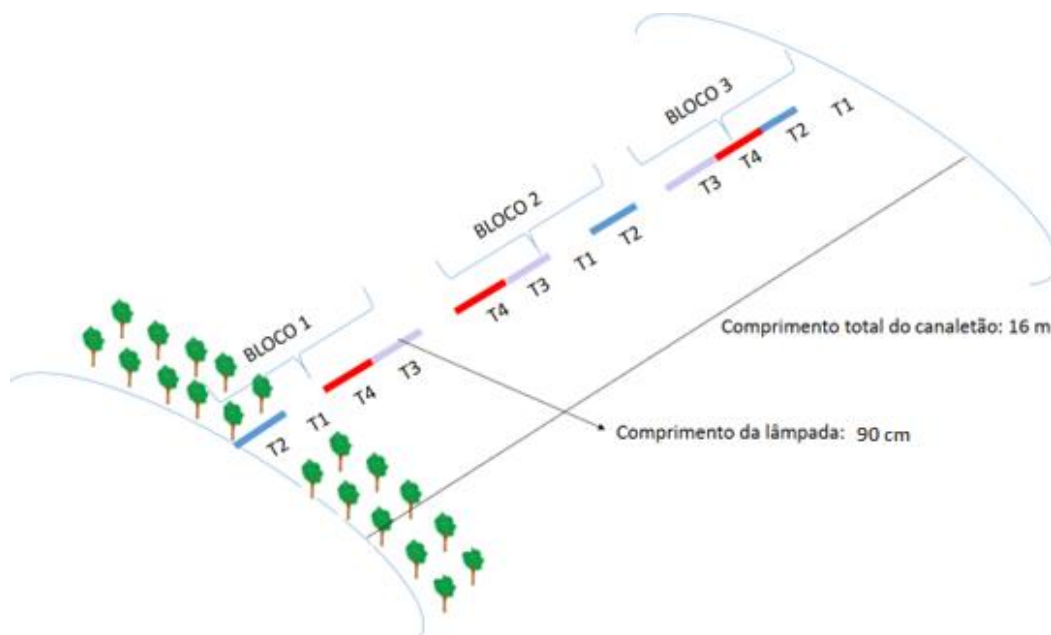
Tabela 2 – Especificações dos sistemas de ambiente utilizados no experimento em minijardim clonal com *Eucalyptus dunnii*

Ambiente	Especificação
Tradicional	Sem cobertura de estufim e sem aquecimento do leito de areia
Estufim	Cobertura do minijardim clonal com estufim (40 cm de altura) sem aquecimento no leito de areia
Aquecimento	Sem presença do estufim e com aquecimento no leito de areia
Estufim + Aq.	Cobertura do minijardim clonal com estufim (40 cm de altura) e aquecimento no leito de areia

Para diminuir o efeito das condições ambientais do local o experimento foi conduzido em blocos ao acaso, seguindo um esquema bifatorial 4x4, em que o fator A corresponde às luzes e o fator B aos ambientes de cultivo. Cada bloco foi composto por quatro tratamentos (Figura 2), com a implantação de 84 minicepas por tratamento,

distribuídas em uma área de 6.400 cm², com espaçamento de 10X10 cm entre elas. O clone utilizado no experimento faz parte de um dos clones comerciais utilizados pela empresa.

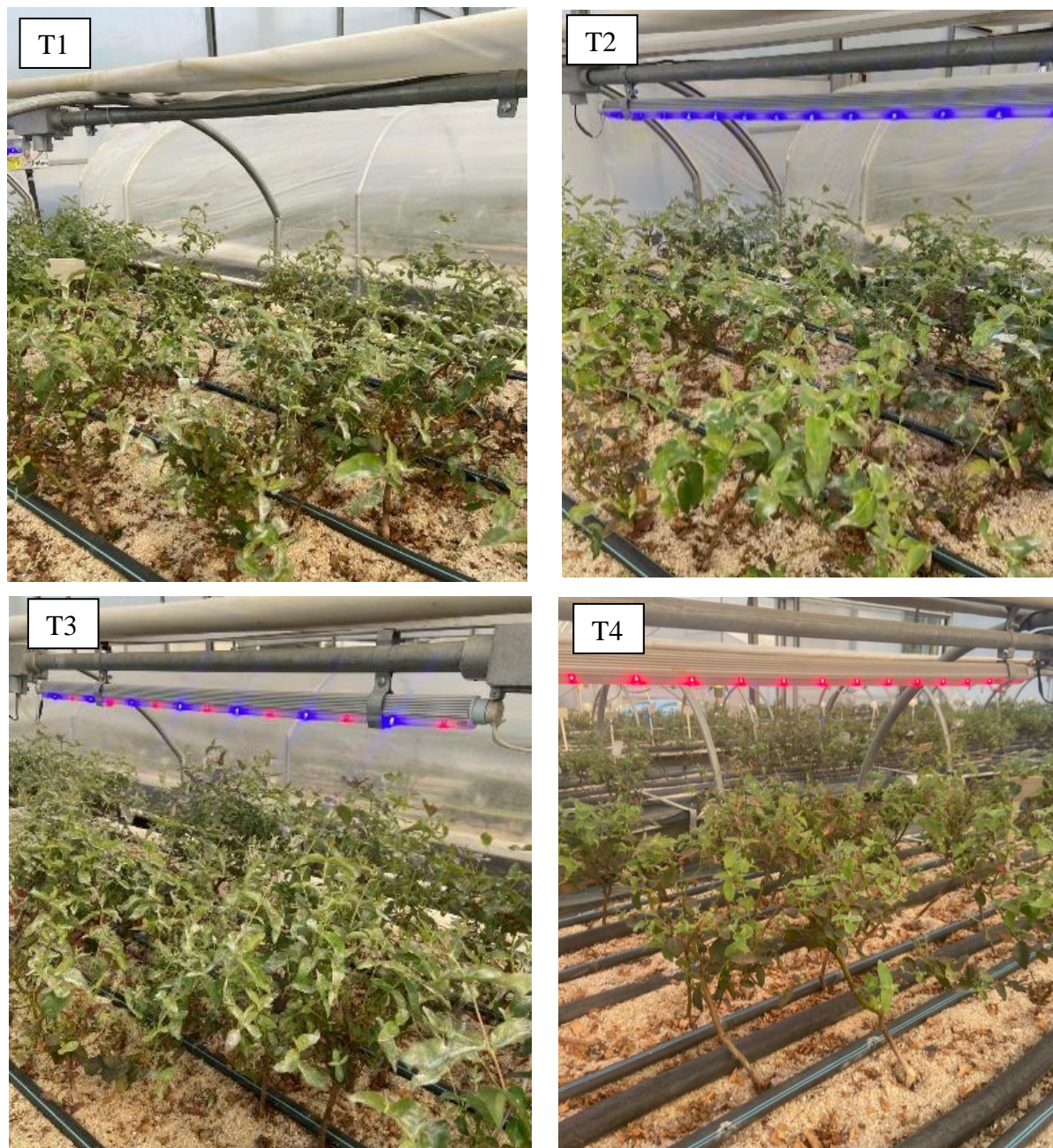
Figura 1 – Demonstração esquemática de canaletão com suplementação de luz (LED)



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Todos os minijardins clonais (canaletões) utilizados no estudo foram devidamente equipados com as lâmpadas LED, de acordo com o respectivo delineamento do experimento e suas cores (Figura 2). A suplementação das luzes ocorreu automaticamente no período de 16 horas/dia, sendo ativada às 6 horas da manhã e se desativada às 22 horas.

Figura 2 – Demonstração visual dos tratamentos, T1: luz natural (controle); T2: LED Azul, T3: LED Azul/Vermelho; T4: LE

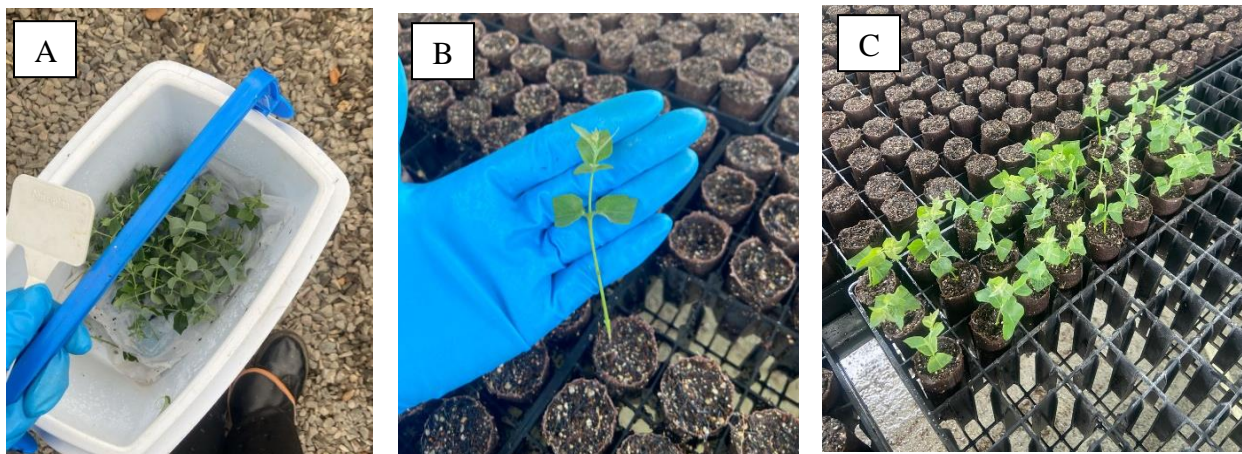


Fonte: Própria autora (2025)

Coleta de dados

As coletas de dados iniciaram em setembro de 2023, com coletas realizadas aproximadamente a cada quinze dias. Em cada coleta realizou-se uma poda seletiva para preparação das 27 miniestacas para cada tratamento, conforme Figura 3.

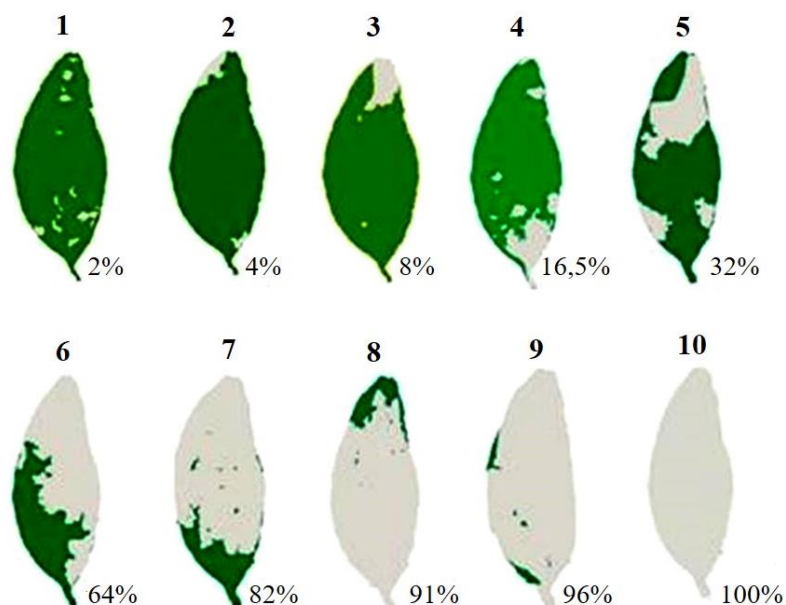
Figura 3 – Processo de preparação e estaqueamento de miniestacas de *Eucaliptos dunnii*. (A: 27 miniestacas confeccionadas, B: especificação do tamanho da miniestaca, C: estaqueamento das miniestacas)



Fonte: Própria autora (2024)

As miniestacas foram utilizadas no experimento de enraizamento previsto no estudo. Além disso, foram realizadas podas de manejo e contagem do número total de miniestacas com potencial de enraizamento, que serviram para avaliação da produtividade de brotos por minicepa, variável também analisada no estudo. Durante todo o processo, as miniestacas foram armazenadas em caixa térmica contendo gelo (Figura 3-A), a fim de minimizar a perda da turgescência celular dos tecidos vegetais. Ao longo do estudo observou-se a presença de oídio nas minicepas, portanto, iniciou-se a avaliação do respectivo grau de ataque ao longo das coletas, utilizando-se a escala de avaliação disponibilizada pela empresa, adicionando-se notas ao respectivo grau de severidade, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4 –Escala visual de severidade do ataque de oídio em folhas de minicepas de *Eucalyptus dunnii*



Fonte: Forneceido pela empresa parceira (2024)

Para confecção das miniestacas, utilizou-se uma tesura de poda, impreterivelmente higienizada com álcool 70% e água em cada troca de tratamento. O tamanho da miniestaca seguiu o padrão estabelecido pela empresa, variando de 8 a 10 cm, com parte apical presente, mantendo de um a dois pares de folhas, com sua área reduzida em 50%. A redução da área foliar nas miniestacas tem a finalidade de diminuir o excesso de transpiração, facilitar a chegada da água de irrigação ao substrato, evitando o chamado "efeito guarda-chuva" e reduzir o encurvamento das miniestacas devido ao peso da água sobre a superfície das folhas (Xavier et al., 2009).

As 27 miniestacas provenientes de cada um dos 16 tratamentos, foram estaqueadas em tubos do tipo *Ellepot* (~50 cm³) contendo substrato *Carolina Soil II*, fertilizado com 1.500 kg m⁻³ (padrões da empresa para a preparação de grandes quantidades de substrato) de fertilizante (*Osmocote* - NPK nas proporções 19:6:10). Na sequência, estas foram mantidas na casa de enraizamento, em condições de climatização adequadas, com umidade relativa do ar superior a 80% e temperatura média de 25°C. As miniestacas permaneceram no local por trinta dias, período após o qual foram avaliadas quanto ao enraizamento. O enraizamento adventício foi registrado com base no número de propágulos que apresentaram raízes na parte inferior de cada tubo *Ellepot*. A avaliação

dos resultados de enraizamento foi feita por colaboradores da empresa. Os resultados de todas as variáveis analisadas serão apresentados separadamente por estação.

Variáveis fisiológicas

As avaliações de variáveis fisiológicas foram realizadas com o auxílio de um medidor portátil de fotossíntese, marca Licor, modelo Li-6400xt (Figura 5), em 5 repetições, onde foi determinado os valores de taxa de assimilação líquida (A), condutância estomática (g_s), transpiração (E), relação entre a concentração intercelular e atmosférica de CO_2 (C_i/C_a) e eficiência no uso da água (WUE). A radiação fotossinteticamente ativa, utilizada durante as medições foram de $800 \mu\text{mol}$ de fótons $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Esse valor foi determinado pela curva de saturação luminosa medida para o eucalipto, situando-se entre 800 e $1.000 \mu\text{mol}$ de fótons $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$, conforme Silva et al. (1998). A radiação fotossinteticamente ativa foi fornecida por uma fonte luminosa artificial (LI-6400-40), percentual de luz azul utilizada foi de 10% do total da RFA. A concentração atmosférica de CO_2 oscilou de 390 a $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$ durante as medições.

Figura 5 - Procedimento de avaliação de trocas gasosas em *Eucalyptus dunnii* com o IRGA

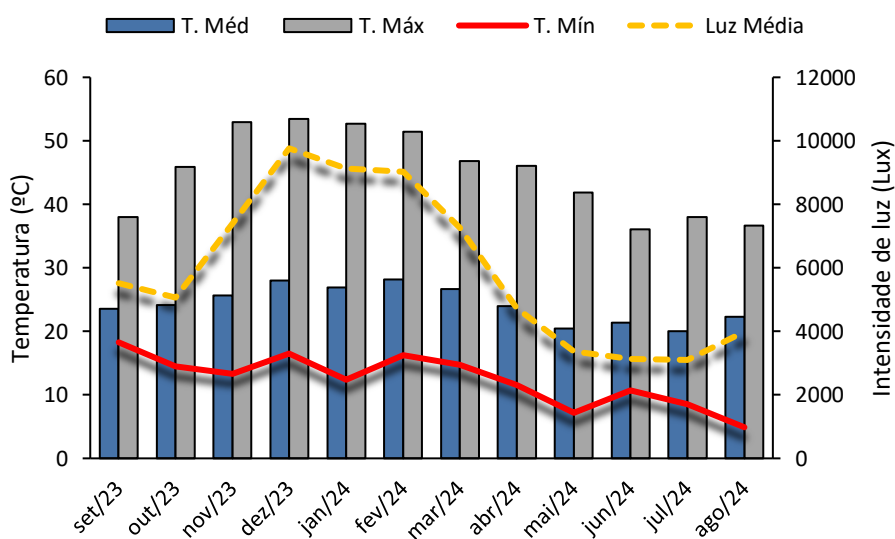


Fonte: Própria autora (2025).

Variáveis ambientais

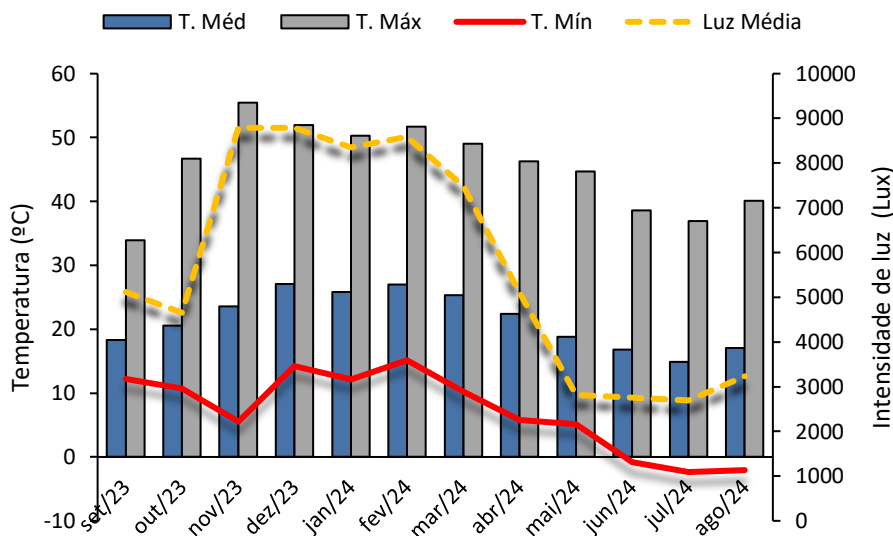
A temperatura (°C) e intensidade luminosa (Lux) foram monitoradas constantemente utilizando termohigrômetros (*Datalogger - Pendant*), instalados no meio de um dos canaletões dispostos nas duas casas de vegetação que acomodam os minijardins clonais, onde a cada um minuto eram feitos registros da temperatura e intensidade de luz. Para caracterização das variáveis ambientais foram utilizados a média dos valores encontrados no decorrer de cada mês, para o tratamento estufim associado ao aquecimento (Figura 6) e tratamento com ambiente de cultivo do tipo tradicional (Figura 7).

Figura 6 - Dados das temperaturas (°C) médias, máximas e mínimas, e intensidade de luz (Lux) ao longo do ano de avaliação do experimento no tratamento estufim associado ao aquecimento



Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Figura 7 - Dados das temperaturas (°C) médias, máximas e mínimas, e intensidade de luz (Lux) ao longo do ano de avaliação do experimento no tratamento sistema tradicional



Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Análises estatísticas

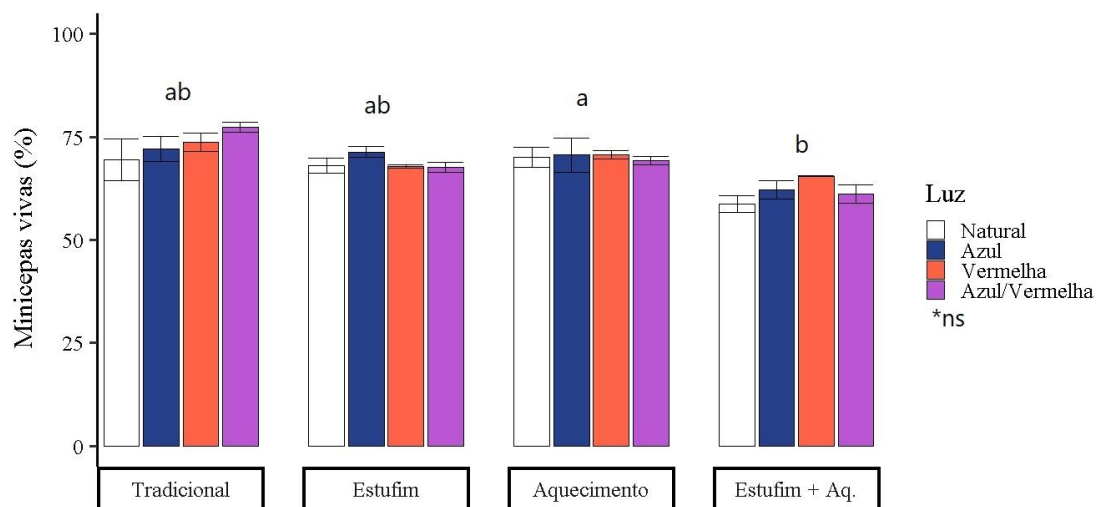
Os dados foram submetidos ao teste de verificação de pressuposição de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade de variâncias (Bartlett). Em seguida, realizou-se análise de variância e, verificado a significância, as médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$), utilizando-se o programa estatístico R Studio.

RESULTADOS

SOBREVIVÊNCIA DE MINICEPAS

Para a variável sobrevivência de minicepas não houve influência das luzes em nenhuma das estações estudadas. A diferença se deu apenas em relação aos tipos de ambientes de cultivo. Na figura 8 estão apresentados os resultados da porcentagem média de sobrevivência de minicepas no período da estação da primavera, que foi quando se iniciou a coleta das brotações. O tratamento aquecimento apresentou a maior média de sobrevivência (89,87%), diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Estufim e ambiente tradicional apresentaram médias intermediárias (87,31% e 87,53%, respectivamente), não diferindo estatisticamente entre si. Enquanto a menor média de sobrevivência corresponde ao tratamento aquecimento combinado com estufim (82,60%).

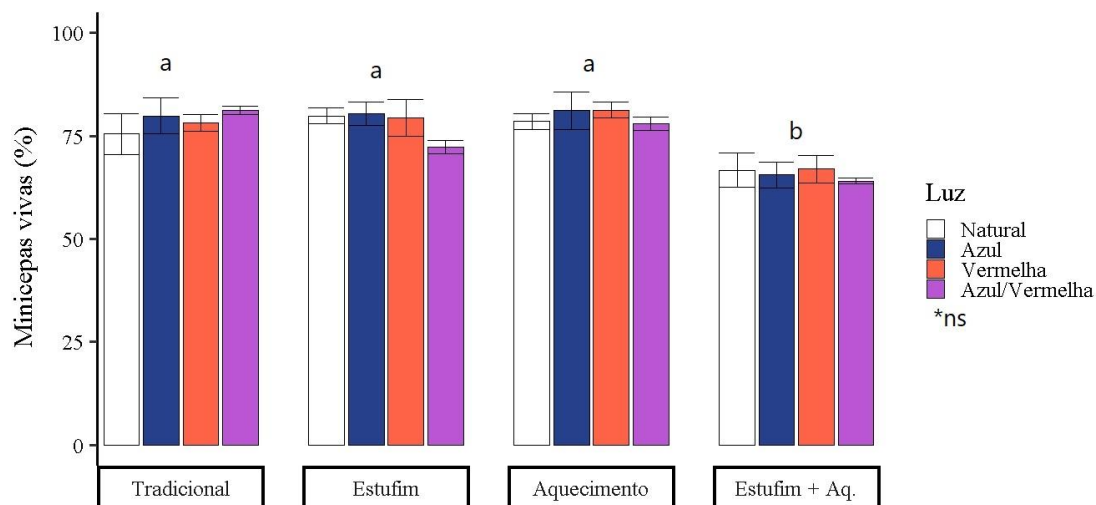
Figura 8 - Sobrevivência de minicepas em relação aos fatores luz LED e ambientes de cultivo na primavera



*ns: não significativo para os tratamentos correspondentes aos tipos de luzes; Tratamentos com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de erro.

No verão, os resultados demonstraram um padrão de resposta entre os diferentes ambientes de cultivo (Figura 9). O aquecimento, o estufim e o sistema tradicional apresentaram as maiores médias percentuais de minicepas vivas, não diferindo entre si. A sobrevivência foi de aproximadamente 80% nos três tratamentos. Em contrapartida, o tratamento que combinou estufim com aquecimento diferiu dos demais, apresentando a menor média de minicepas vivas, com um valor de 65,82%.

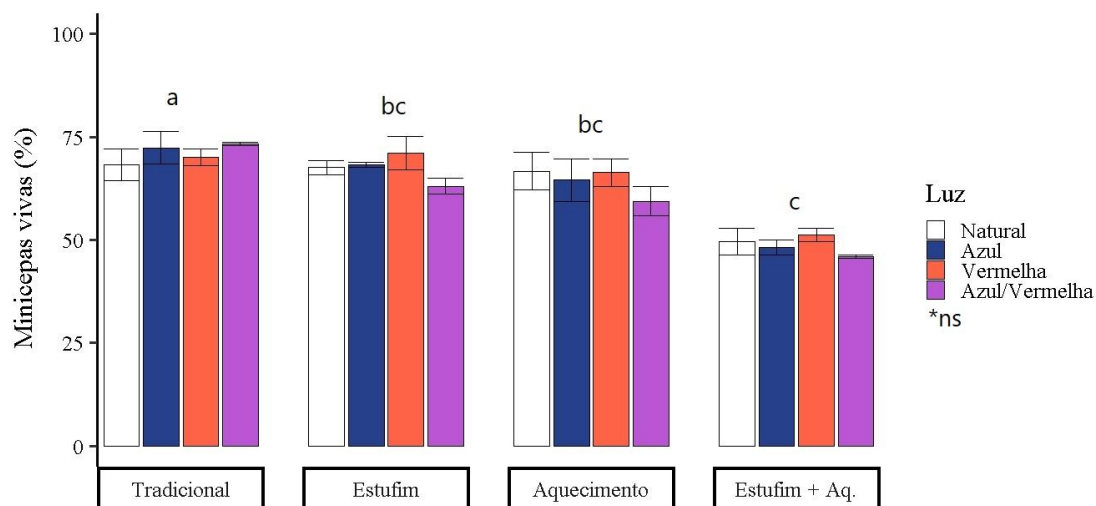
Figura 9 - Sobrevivência de minicepas em relação aos fatores luz LED e ambientes de cultivo no verão



*ns: não significativo para os tratamentos correspondentes aos tipos de luzes; Tratamentos com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de erro.

Para o outono, observa-se que o sistema tradicional apresentou a melhor porcentagem média de sobrevivência das minicepas (71%), diferindo dos tratamentos aquecimento (64,25%) e estufim (67,52%), enquanto o ambiente estufim combinado com aquecimento apresentou a menor média de sobrevivência (48,74%). Registrou-se uma mortalidade de mais da metade das minicepas (Figura 10).

Figura 10 - Sobrevivência de minicepas em relação aos fatores luz LED e ambientes de cultivo no outono

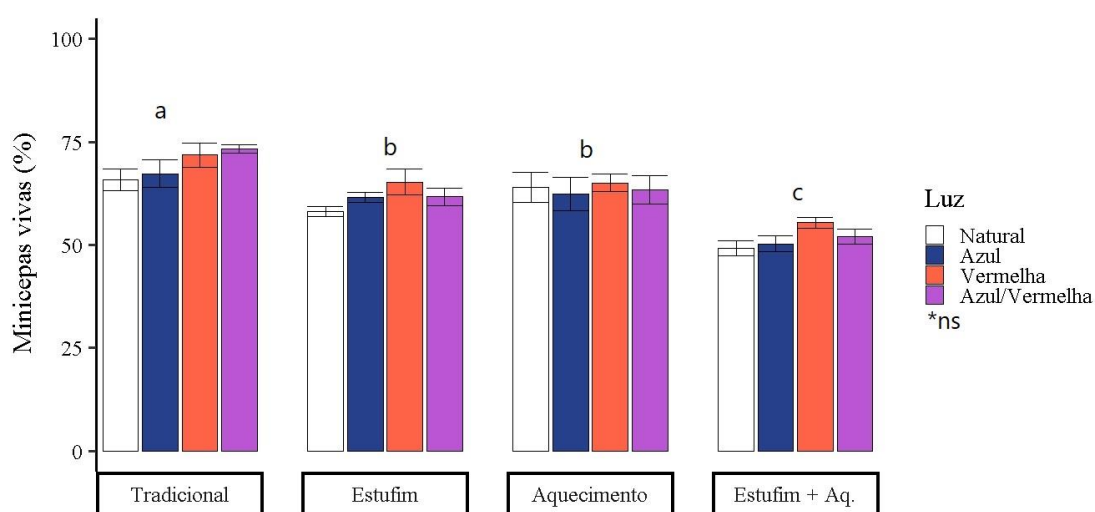


*ns: não significativo para os tratamentos correspondentes aos tipos de luzes; Tratamentos com

letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de erro.

No inverno (Figura 11), a maior porcentagem média de sobrevivência foi observada no tratamento que corresponde ao ambiente tradicional (55,91%), diferindo estatisticamente dos tratamentos aquecimento e estufim (47,19 e 44,47%, respectivamente). O estufim combinado com aquecimento apresentou a menor porcentagem média de sobrevivência (32,12%).

Figura 11 - Sobrevivência de minicepas em relação aos fatores luz LED e ambientes de cultivo no inverno

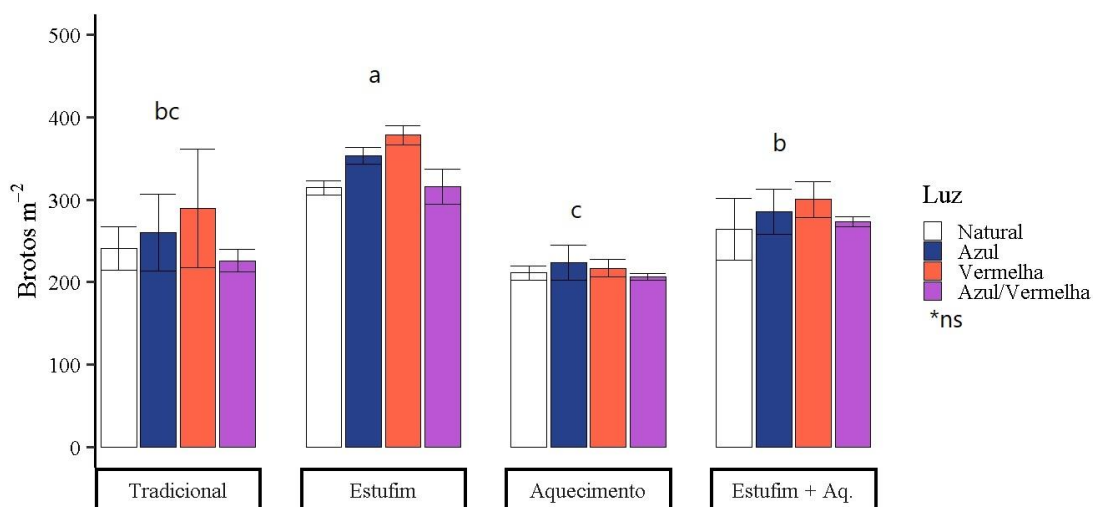


*ns: não significativo para os tratamentos correspondentes aos tipos de luzes; Tratamentos com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de erro.

PRODUTIVIDADE DE BROTONS

A variável produtividade de brotos por metro quadrado não foi influenciada pelos diferentes tipos de luz em nenhuma das estações analisadas. Os valores médios de produção de brotos por metro quadrado durante a primavera estão apresentados na Figura 12. Observa-se que houve diferença significativa em todos os ambientes de cultivo, com destaque para o ambiente estufim, com uma média de 340 brotos/m², enquanto o aquecimento apresentou a menor média de produção de brotos (214/m²).

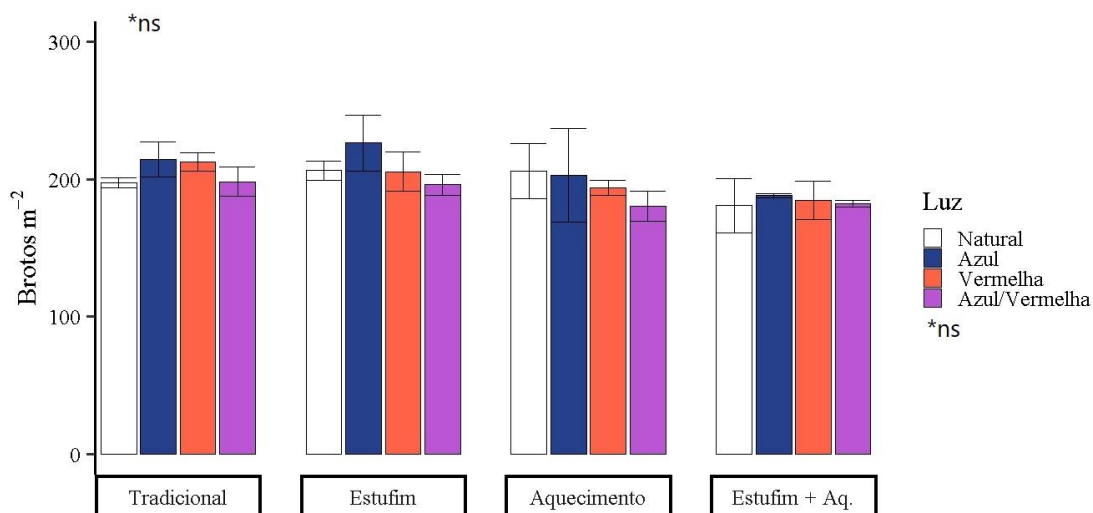
Figura 12 – Produtividade de brotos por metro quadrado em relação aos fatores luz LED e ambientes de cultivo na primavera



*ns: não significativo para os tratamentos correspondentes aos tipos de luzes; Tratamentos com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de erro.

No verão (Figura 13), observa-se que não houve diferença entre os fatores e tampouco isoladamente, numericamente o ambiente estufim apresentou as maiores médias de produção de brotos (208 brotos/m²), enquanto o ambiente estufim associado ao aquecimento apresentou a menor média de produtividade (183 brotos/m²).

Figura 13 – Produtividade de brotos por metro quadrado em relação aos fatores luz LED e ambientes de cultivo no verão

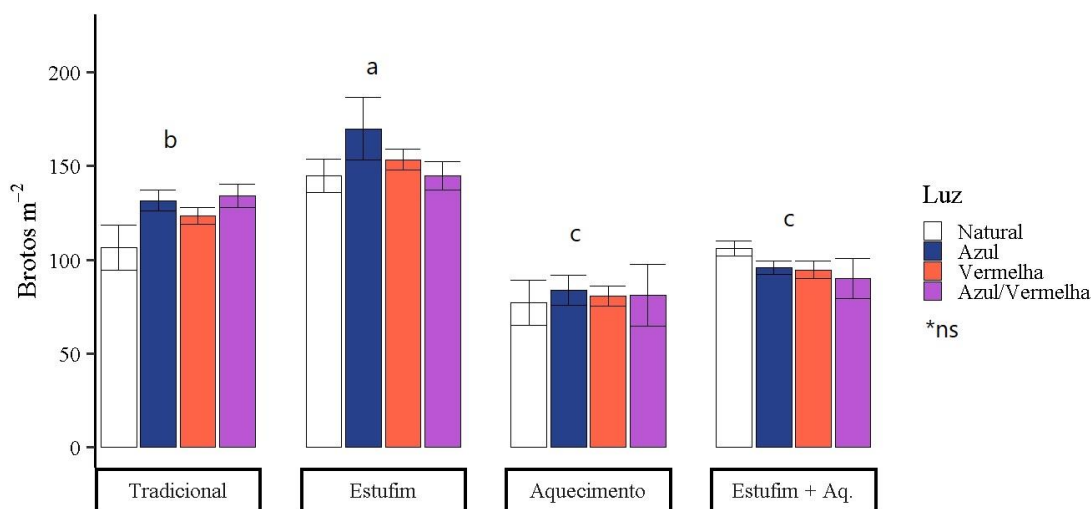


*ns: não significativo para os tratamentos correspondentes aos tipos de luzes; Tratamentos com

letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de erro.

Não foi observada interação significativa entre os fatores em nenhuma das estações. Apenas o fator ambiente de cultivo resultou em diferenças significativas em ambas as estações. No outono (Figura 14), o ambiente estufim registrou o maior número de brotos, com valores próximos a 170 brotos/m² sob luz azul. O ambiente tradicional exibiu uma produtividade levemente inferior à do estufim, com valores médios próximos a 130 brotos/m², diferenciando-se estatisticamente dos demais tratamentos. Os ambientes de aquecimento e estufim associado ao aquecimento demonstraram uma redução significativa na produtividade de brotos, com valores médios inferiores a 100 brotos/m², sem diferenças estatísticas.

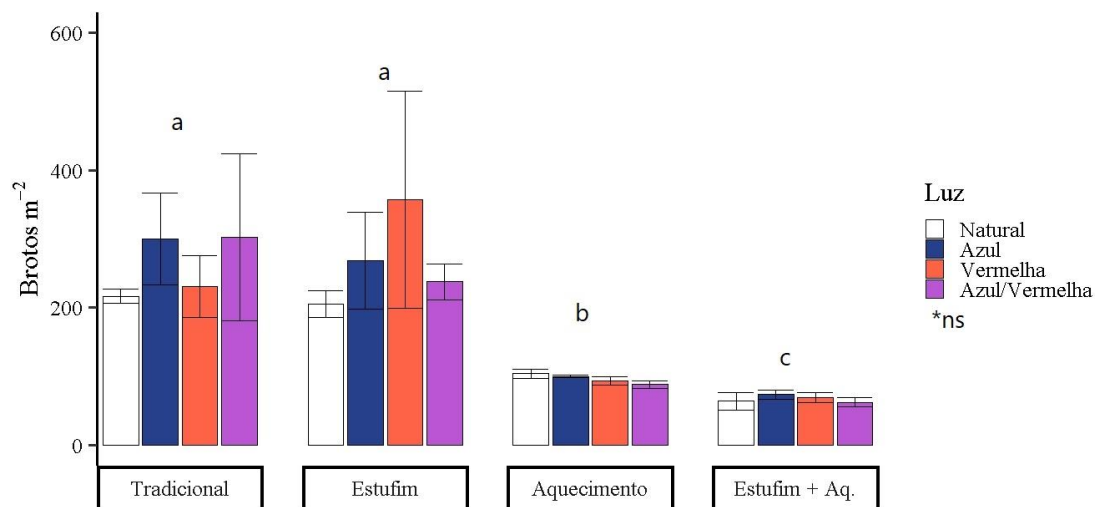
Figura 14 – Produtividade de brotos por metro quadrado em relação aos fatores luz LED e ambientes de cultivo no outono



*ns: não significativo para os tratamentos correspondentes aos tipos de luzes; Tratamentos com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de erro.

No inverno (Figura 15), o ambiente tradicional e estufim exibiram as maiores densidades de brotos, sem diferenças significativas entre si. O tratamento estufim obteve a maior produtividade, com aproximadamente 360 brotos/m² sob luz vermelha. O ambiente com aquecimento apresentou produtividade intermediária, com cerca de 100 brotos/m², enquanto a combinação de estufim e aquecimento resultou na menor densidade de brotos, variando entre 70 e 80 brotos/m².

Figura 15 – Produtividade de brotos por metro quadrado em relação aos fatores luz LED e ambientes de cultivo no inverno



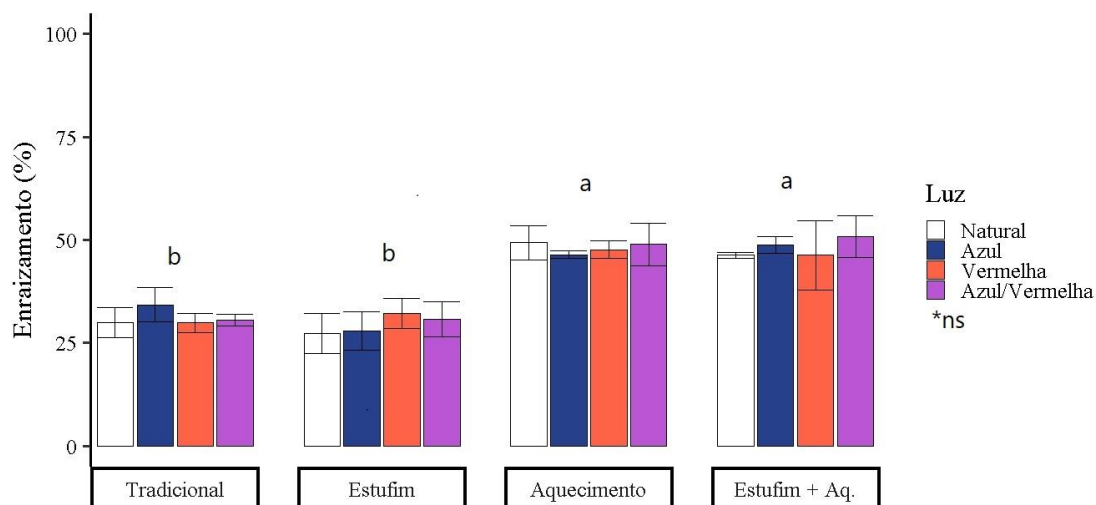
*ns: não significativo para os tratamentos correspondentes aos tipos de luzes; Tratamentos com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de erro.

ENRAIZAMENTO

Na variável enraizamento houve diferença significativa dos tratamentos com suplementação de luz LED apenas para a estação do inverno. Já os tratamentos que avaliaram os diferentes ambientes de cultivo, não houve diferença significativa nas estações verão e outono.

Na primeira avaliação correspondente a estação da primavera (Figura 16), verificou-se que brotos oriundos do ambiente aquecimento apresentaram a melhor média de enraizamento, porém, não diferiu estatisticamente do ambiente estufim associado ao aquecimento, ambos apresentaram uma média de enraizamento superior a 50%. Em contraste a esses resultados, os tratamentos estufim e ambiente tradicional apresentaram as menores porcentagens médias de enraizamento (29,62 e 32,21%, respectivamente), também não diferindo significativamente entre si.

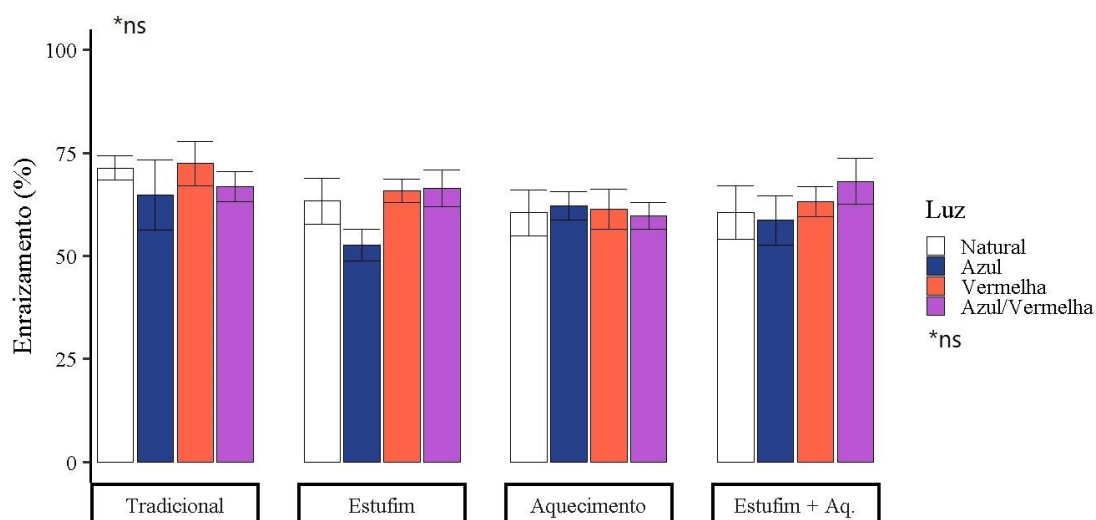
Figura 16 – Enraizamento de miniestacas de *Eucalyptus dunnii* em relação aos fatores luz LED e ambientes de cultivo na primavera



*ns: não significativo para os tratamentos correspondentes aos tipos de luzes; Tratamentos com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de erro.

A estação do verão foi marcada pelo aumento na porcentagem de enraizamento em todos os ambientes de cultivo testados. Obteve-se valores de enraizamento superiores a 60% (Figura 17) sem diferença significativa entre eles.

Figura 17 – Enraizamento de miniestacas de *Eucalyptus dunnii* em relação aos fatores luz LED e ambientes de cultivo no verão

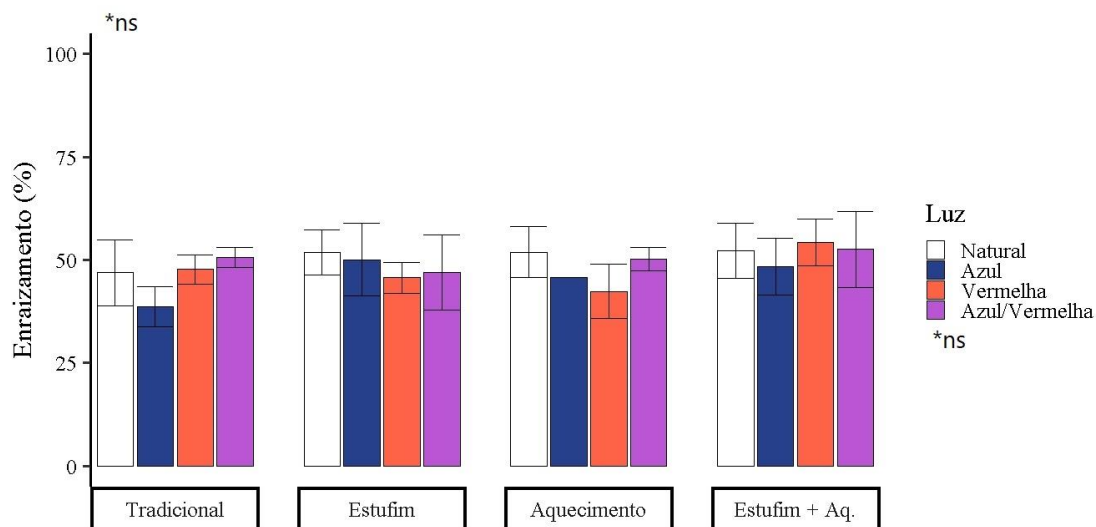


*ns: não significativo para os tratamentos correspondentes aos tipos de luzes e ambientes de

cultivo.

O mesmo foi observado no outono (Figura 18), nenhum dos ambientes de cultivo testados apresentou diferença significativa e obtiveram uma média de enraizamento de aproximadamente 50%.

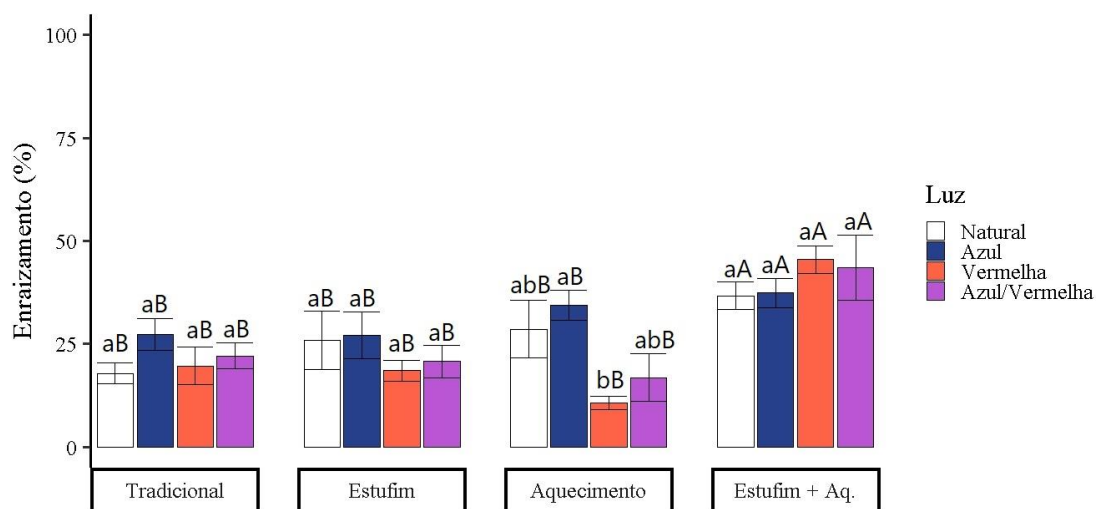
Figura 18 – Enraizamento de miniestacas de *Eucalyptus dunnii* em relação aos fatores luz LED e ambientes de cultivo no outono



*ns: não significativo para os tratamentos correspondentes aos tipos de luzes e ambientes de cultivo.

No inverno (Figura 19), observa-se que o tratamento estufim associado ao aquecimento apresentou a melhor média de enraizamento (40,78%), diferindo significativamente dos demais tratamentos, que apresentaram um valor médio inferior de aproximadamente 20% de enraizamento. Nesse período os tratamentos com suplementação de luz LED apresentaram diferença estatística, especificamente no ambiente aquecimento, em que a luz azul apresentou uma média de enraizamento superior (34,38%), porém, não diferindo estatisticamente dos tratamentos com luz azul combinada com vermelha (16,82%) e o tratamento que recebeu apenas luz natural (28,64%).

Figura 19 – Enraizamento de miniestacas de *Eucalyptus dunnii* em relação à interação entre os fatores luz LED e ambientes de cultivo no inverno

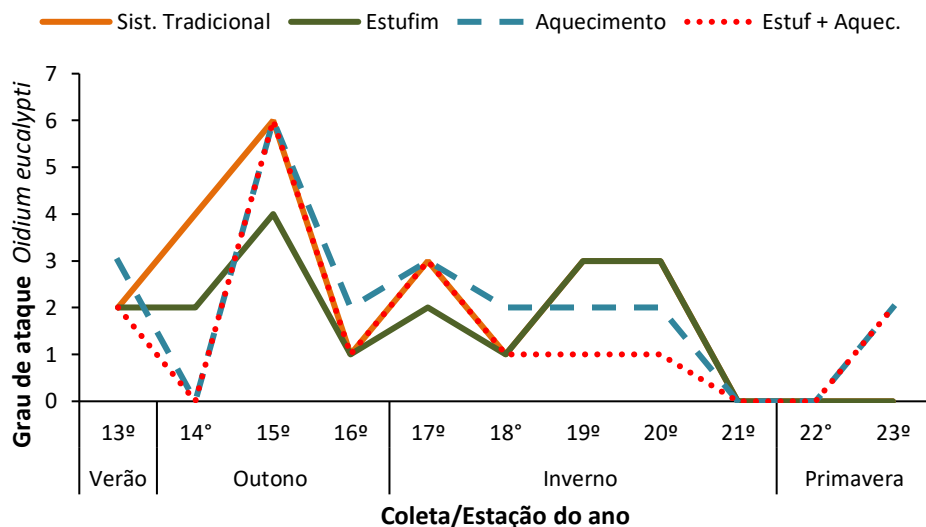


*Letras maiúsculas representam o fator ambiente e letras minúsculas as diferentes luzes. Tratamentos com letras iguais não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de erro.

GRAU DE SEVERIDADE DO *Oidium eucalypti* E MINICEPAS IMPRODUTIVAS

A Figura 20 ilustra o grau de severidade de acordo com o ambiente de cultivo por coleta e suas respectivas estações do ano. É possível verificar que o período mais severo foi na 15ª coleta, coincidindo com a estação do outono, atingindo um grau de ataque nível 6 de acordo com o padrão de escala de avaliação. Na coleta anterior (14ª), observa-se que os ambientes aquecimento e estufim associado ao aquecimento apresentaram menor grau de ataque do fungo em relação aos demais ambientes.

Figura 20 – Grau de severidade do fungo *Oidium eucalypti* nas minicepas de *Eucalipytus dunnii* ao longo dos meses de avaliação do estudo em relação aos ambientes de cultivo



Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Ao longo da realização do experimento verificou-se a incidência de minicepas com deficiência. Observa-se (Tabela 4), que no verão todos os ambientes apresentaram valores baixos de minicepas improdutivas/deficientes, não diferindo estatisticamente entre si. O outono foi a estação que apresentou a maior ocorrência de minicepas improdutivas, especialmente no ambiente estufim (17,59%), não diferindo significativamente do ambiente com aquecimento. Já no inverno, o ambiente aquecimento apresentou a maior porcentagem média de minicepas com deficiência (15,89%). Por fim, no verão, a porcentagem média de minicepas improdutivas tendeu a diminuir em todos os ambientes de cultivo.

Tabela 3 – Comparativo da porcentagem de minicepas vivas e minicepas com deficiência de acordo com o ambiente de cultivo nas estações do ano

Ambiente de cultivo	Minicepas vivas (%)	Minicepas com deficiência (%)
Verão		
Aquecimento	79.74 a	0.49 *ns
Estufim + Aq.	65.82 b	0.00
Estufim	78.00 a	0.87
Tradicional	78.70 a	0.13
Outono		
Aquecimento	64.25 bc	13.99 ab
Estufim + Aq.	48.74 c	9.21 c
Estufim	67.52 bc	17.57 a
Tradicional	71.02 a	12.45 bc
Inverno		
Aquecimento	47.19 b	15.89 a
Estufim + Aq.	31.12 c	10.42 b
Estufim	44.47 b	6.83 c
Tradicional	55.91 a	5.79 c
Primavera		
Aquecimento	37.36 b	2.45 ab
Estufim + Aq.	27.4 c	0 b
Estufim	37.75 b	4.93 a
Tradicional	49.13 a	4.28 a

* Letras iguais não diferem entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

VARIÁVEIS FISIOLÓGICAS

Os resultados obtidos para as variáveis fisiológicas na primavera estão apresentados na Tabela 5, observa-se que todos os ambientes de cultivo apresentaram diferença significativa na taxa fotossintética, sendo o ambiente aquecimento o que apresentou maior média (10,01), enquanto o tratamento estufim combinado com aquecimento apresentou a menor média (5,83), indicando que essa combinação pode ter causado estresse nas plantas, reduzindo a fotossíntese.

Destaca-se ainda que houve interação entre os tratamentos de suplementação por luz LED e ambientes testados. No estufim a taxa fotossintética foi significativamente superior quando suplementada com LED na cor azul (9,46) e azul combinado com vermelho (9,15), enquanto o tratamento controle, que recebeu apenas luz natural apresentou o valor de 4,62. No ambiente tradicional houve uma resposta semelhante entre as diferentes luzes aplicadas, no entanto, a luz natural novamente apresentou o menor

valor (5,15).

Para a variável condutância estomática não houve diferença significativa em nenhum dos tratamentos avaliados, apresentando valores médios de 0,46. Na variável relação entre a concentração intercelular e atmosférica de CO₂, novamente, não houve diferença estatística nos tratamentos estudados. A transpiração diferiu apenas nos ambientes de cultivo, sendo superior no estufim combinado com aquecimento (7,43), não diferindo significativamente dos ambientes aquecimento e estufim.

Por fim, a variável eficiência no uso da água (*WUE*), apresentou interação no ambiente estufim, a luz azul apresentou melhor média para a variável (1,65), não diferindo estatisticamente das luzes vermelha e azul combinada com vermelha (1,34 e 1,59, respectivamente). Isoladamente, o fator que avaliou os diferentes ambientes de cultivo apresentou diferença estatística, em que, obteve-se a melhor média no ambiente aquecimento (1,77) e menor média no ambiente estufim associado ao aquecimento (0,89).

Tabela 4 - Avaliação de variáveis fisiológicas em função do uso de LEDs e ambientes de cultivo na primavera

Fotossíntese ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) - Primavera					
Luz					
	Azul	Vermelha	Azul/Vermelha	Natural	Média
Aquecimento	10.22 aA	10.89 aA	10.68 aA	8.25 bA	10.01
Estufim + Aq.	7.43 aC	5.94 aC	5.93 aC	3.99 bC	5.83
Estufim	9.46 aB	7.7 abB	9.15 aB	4.62 bB	7.73
Tradicional	6.58 abBC	9.49 aBC	7.78 abBC	5.15 bBC	7.25
Média	8.40	8.41	8.30	5.50	
Condutância Estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)					
Luz					
	Azul	Vermelha	Azul/Vermelha	Natural	Média
Aquecimento	0.44 *ns	0.42	0.42	0.37	0.42
Estufim + Aq.	0.58	0.64	0.98	0.51	0.68
Estufim	0.43	0.42	0.41	0.33	0.39
Tradicional	0.31	0.39	0.38	0.27	0.34
Média	0.44	0.47	0.55	0.37	
Ci/Ca ($\mu\text{mol CO}_2$)					
Luz					
	Azul	Vermelha	Azul/Vermelha	Natural	Média
Aquecimento	0.88 *ns	0.77	0.77	0.81	0.81
Estufim + Aq.	0.84	0.85	0.84	0.88	0.85
Estufim	0.77	0.81	0.77	0.85	0.80
Tradicional	0.8	0.76	0.79	0.82	0.79

Média	0.82	0.80	0.79	0.84	
Transpiração (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)					
Luz					
	Azul	Vermelha	Azul/Vermelha	Natural	Média
Aquecimento	5.87	5.68	5.83	5.19	5.65 ab
Estufim + Aq.	7.52	7.44	8.01	6.74	7.43 a
Estufim	5.95	5.85	5.75	5.03	5.65 ab
Tradicional	4.72	5.43	5.17	4.32	4.91 b
Média	6.02	6.10	6.19	5.32	
WUE (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)					
Luz					
	Azul	Vermelha	Azul/Vermelha	Natural	Média
Aquecimento	1.75 aA	1.91 aA	1.84 aA	1.6 bA	1.77
Estufim + Aq.	1 aC	0.89 aC	0.87 aC	0.6 bC	0.84
Estufim	1.65 aB	1.34 abB	1.59 abB	0.96 bB	1.38
Tradicional	1.38 aBC	1.75 aBC	1.51 aBC	1.19 aBC	1.45
Média	1.44	1.47	1.45	1.09	

*Letras maiúsculas representam o fator ambiente e letras minúsculas as diferentes luzes. Tratamentos com letras iguais não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de erro.

Os resultados para avaliação das variáveis fisiológicas no verão estão apresentados na Tabela 6. Pode-se observar que, houve diferença significativa para os tratamentos referentes a suplementação por luz LED apenas na variável transpiração, já para os ambientes de cultivo testados houve diferença significativa em todas as variáveis.

Para a fotossíntese, o ambiente estufim associado ao aquecimento foi o que apresentou a maior taxa fotossintética (24,23) diferindo de todos os demais tratamentos. Na condutância estomática, o ambiente estufim associado ao aquecimento se destacou (0,63), não diferindo do ambiente com apenas aquecimento (0,49). Para relação entre a concentração intercelular e atmosférica de CO₂, houve diferença estatística apenas nos ambientes de cultivo, observou-se a maior média no ambiente tradicional (0,77), não diferindo estatisticamente do ambiente estufim (0,72).

Na transpiração, no ambiente estufim associado ao aquecimento houve interação com a suplementação por luz LED, a luz vermelha apresentou a maior média (7,59) não diferindo estatisticamente das luzes azul e azul combinado com vermelha (6,58 e 6,54, respectivamente). Na variável eficiência no uso da água, não houve diferença estatística em nenhum dos tratamentos estudados. A média geral da variável foi de 3,30.

Tabela 5 - Avaliação de variáveis fisiológicas em função do uso de LEDs e ambientes de cultivo no verão

Fotossíntese ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) – Verão					
Luz					
	Azul	Vermelha	Azul/Vermelha	Natural	Média
Aquecimento	16.51	15.4	23.77	19.84	18.88 b
Estufim + Aq.	28.32	26.52	21.12	20.96	24.23 a
Estufim	10.97	16.33	12.26	14.14	13.42 c
Tradicional	8.79	12.16	14.13	13.68	12.19 c
Média	16.15	17.60	17.82	17.16	
Condutância Estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)					
Luz					
	Azul	Vermelha	Azul/Vermelha	Natural	Média
Aquecimento	0.43	0.43	0.61	0.51	0.49 ab
Estufim + Aq.	0.72	0.79	0.5	0.51	0.63 a
Estufim	0.43	0.42	0.26	0.44	0.39 b
Tradicional	0.34	0.35	0.54	0.48	0.42 b
Média	0.48	0.50	0.48	0.49	
Ci/Ca ($\mu\text{mol CO}_2$)					
Luz					
	Azul	Vermelha	Azul/Vermelha	Natural	Média
Aquecimento	0.7	0.72	0.66	0.65	0.69 bc
Estufim + Aq.	0.63	0.66	0.65	0.67	0.65 c
Estufim	0.77	0.69	0.67	0.74	0.72 ab
Tradicional	0.8	0.75	0.77	0.75	0.77 a
Média	0.73	0.71	0.69	0.70	
Transpiração ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)					
Luz					
	Azul	Vermelha	Azul/Vermelha	Natural	Média
Aquecimento	5.68 aA	5.9 aA	7.11 aA	5.58 aA	6.07
Estufim + Aq.	6.58 abA	7.59 aA	6.54 abA	5.51 bA	6.55
Estufim	4.48 aB	4.71 aB	3.54 aB	4.66 aB	4.35
Tradicional	3.26 aB	3.29 aB	4.23 aB	3.95 aB	3.69
Média	5.00	5.37	5.36	4.93	
WUE ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)					
Luz					
	Azul	Vermelha	Azul/Vermelha	Natural	Média
Aquecimento	2.9	2.58	3.29	3.66	3.11
Estufim + Aq.	4.3	3.51	3.22	3.99	3.76
Estufim	2.51	2.46	3.53	2.99	2.87
Tradicional	2.91	3.39	3.72	3.77	3.45
Média	3.16	2.99	3.44	3.60	

*Letras maiúsculas representam o fator ambiente e letras minúsculas as diferentes luzes. Tratamentos com letras iguais não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de erro.

Os resultados referente a avaliação das variáveis fisiológicas realizadas no outono, estão apresentados na Tabela 7. Para a fotossíntese verifica-se que os ambientes de cultivo não apresentaram diferença significativa. No entanto, especificamente no ambiente estufim houve diferença significativa entre os tratamentos com suplementação de luz LED, sendo a taxa fotossintética maior em plantas suplementadas com luz na cor vermelha (7,95), não diferindo estatisticamente do tratamento com a combinação das cores azul e vermelha (3,93) e a luz natural (2,69). Para o ambiente tradicional também não houve interação do respectivo ambiente entre as luzes, sendo o melhor tratamento a combinação das luzes azul e vermelha (15,91) diferindo estatisticamente de todas as demais.

Para as demais variáveis, não houve diferença significativa para tratamentos dos ambientes de cultivo, tampouco para as diferentes luzes. A condutância estomática apresentou uma média geral de 0,21, a relação entre a concentração intercelular e atmosférica de CO₂ apresentou uma média geral de 0,85, a transpiração apresentou valor médio de 3,36. Por fim, a variável eficiência no uso da água apresentou uma média geral de 1,13.

Tabela 6 - Avaliação de variáveis fisiológicas em função do uso de LEDs e ambientes de cultivo no outono

Fotossíntese ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) - Outono					
Luz					
	Azul	Vermelha	Azul/Vermelha	Natural	Média
Aquecimento	3.42	6.79	7.44	7.64	6.32
Estufim + Aq.	3.61	7.56	10.02	5.39	7.08
Estufim	1.45 b	7.95 a	3.93 ab	2.69 ab	4.39
Tradicional	0.33 b	6.36 b	15.91 a	6.36 b	6.64
Média	2.28	7.36	7.83	5.26	
Condutância Estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)					
Luz					
	Azul	Vermelha	Azul/Vermelha	Natural	Média
Aquecimento	0.19 *ns	0.16	0.04	0.2	0.15
Estufim + Aq.	0.35	0.19	0.12	0.12	0.20
Estufim	0.3	0.29	0.26	0.1	0.24
Tradicional	0.06	0.26	0.59	0.18	0.27
Média	0.23	0.23	0.25	0.15	
Ci/Ca ($\mu\text{mol CO}_2$)					
Luz					

	Azul	Vermelha	Azul/Vermelha	Natural	Média
Aquecimento	0.86 *ns	0.9	0.67	0.86	0.82
Estufim + Aq.	0.92	0.86	0.79	0.84	0.85
Estufim	0.92	0.79	0.88	0.81	0.85
Tradicional	0.94	0.83	0.78	0.93	0.87
Média	0.91	0.85	0.78	0.86	
Transpiração (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)					
Luz					
	Azul	Vermelha	Azul/Vermelha	Natural	Média
Aquecimento	2.63 *ns	1.58	0.92	2.26	1.85
Estufim + Aq.	4.25	1.55	2.4	1.59	2.45
Estufim	5.88	5.56	5.26	2.23	4.73
Tradicional	1.74	5.09	8.47	2.36	4.42
Média	3.63	3.45	4.26	2.11	
WUE (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)					
Luz					
	Azul	Vermelha	Azul/Vermelha	Natural	Média
Aquecimento	1.24 *ns	0.77	1.75	1.5	1.32
Estufim + Aq.	0.85	1.11	1.73	1.54	1.31
Estufim	0.25	1.7	0.73	1.35	1.01
Tradicional	0.19	1.24	1.87	0.31	0.90
Média	0.63	1.21	1.52	1.18	

*Letras maiúsculas representam o fator ambiente e letras minúsculas as diferentes luzes. Tratamentos com letras iguais não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de erro.

Na avaliação realizada no período correspondente ao inverno (Tabela 8) pode-se observar que não houve diferença significativa em nenhum dos tratamentos (suplementação com luz LED e ambientes de cultivo). Nota-se que uma baixa geral no valor médio da taxa fotossintética (4,95). Para a condutância estomática houve interação entre os ambientes de cultivo e as diferentes luzes testadas para suplementação. No ambiente tradicional a luz azul apresentou a maior média (0,92) não diferindo estatisticamente do tratamento que recebeu suplementação por luz vermelha e combinação azul mais vermelha.

Para relação entre a concentração intercelular e atmosférica de CO₂, não houve diferença estatística no tratamento que testou a suplementação por luz LED, tampouco nos diferentes ambientes de cultivo testados. A média geral foi de 0,89. Para a variável transpiração houve diferença estatística entre os ambientes de cultivo, em que o estufim apresentou melhor média (3,79), não diferindo significativamente do ambiente tradicional (3,41). Por fim, a variável eficiência no uso da água, assim como nas estações anteriores, não

apresentou diferença estatística, apresentando uma média geral de 1,53.

Tabela 7 - Avaliação de variáveis fisiológicas em função do uso de LEDs e ambientes de cultivo no inverno

Fotossíntese ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) - Inverno					
Luz					
	Azul	Vermelha	Azul/Vermelha	Natural	Média
Aquecimento	3.01 *ns	4.26	3.02	4.22	3.83
Estufim + Aq.	6	3.27	5.26	1.47	4.00
Estufim	8.51	5.16	6.93	5.33	6.48
Tradicional	7.28	4.89	4.75	4.94	5.47
Média	7.26	4.40	4.99	3.99	
Condutância Estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)					
Luz					
	Azul	Vermelha	Azul/Vermelha	Natural	Média
Aquecimento	0.39 aB	0.33 aB	0.37 aB	0.4 aB	0.37
Estufim + Aq.	0.38 aB	0.31 aB	0.37 aB	0.41 aB	0.36
Estufim	0.7 aA	0.63 aA	0.64 aA	0.57 aA	0.63
Tradicional	0.92 aA	0.66 abA	0.72 abA	0.6 bA	0.72
Média	0.60	0.48	0.53	0.50	
Ci/Ca ($\mu\text{mol CO}_2$)					
Luz					
	Azul	Vermelha	Azul/Vermelha	Natural	Média
Aquecimento	0.92 *ns	0.88	0.92	0.88	0.90
Estufim + Aq.	0.85	0.89	0.87	0.94	0.89
Estufim	0.84	0.89	0.87	0.88	0.87
Tradicional	0.88	0.9	0.9	0.89	0.89
Média	0.87	0.89	0.89	0.90	
Transpiração ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)					
Luz					
	Azul	Vermelha	Azul/Vermelha	Natural	Média
Aquecimento	2.78	2.6	2.81	2.88	2.77 bc
Estufim + Aq.	2.66	2.46	2.83	2.33	2.59 b
Estufim	4.15	3.96	3.29	3.77	3.79 a
Tradicional	3.68	3.24	3.45	3.25	3.41 ab
Média	3.32	3.07	3.10	3.06	
WUE ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)					
Luz					
	Azul	Vermelha	Azul/Vermelha	Natural	Média
Aquecimento	1.05 *ns	1.6	1.08	1.46	1.30
Estufim + Aq.	2.16	1.41	1.76	0.64	1.49
Estufim	2.04	1.3	2.1	1.41	1.71

Tradicional	2.09	1.5	1.34	1.6	1.63
Média	1.84	1.45	1.57	1.28	

*Letras maiúsculas representam o fator ambiente e letras minúsculas as diferentes luzes. Tratamentos com letras iguais não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey 5% de erro.

DISCUSSÃO

Sobrevivência de minicepas

Com base nos resultados obtidos verifica-se que a suplementação por diferentes luzes LEDs não influenciou na sobrevivência das minicepas, o que pode estar relacionado com as características espectrais das luzes utilizadas no presente estudo, visto que a escolha adequada do espectro luminoso é essencial para otimizar o cultivo vegetal. Quanto aos tratamentos que testaram diferentes ambientes de cultivo, é possível observar distintas tendências de desempenho dos respectivos ambientes ao longo dos meses de pesquisa.

Nas estações mais frias (outono e inverno) o ambiente tradicional, ou seja, sem aquecimento do canaletão de areia e sem cobertura por estufim apresentou as melhores condições para a sobrevivência das minicepas. Sugerindo-se que para a sobrevivência das minicepas essas alterações no ambiente tornam-se dispensáveis. O ambiente estufim combinado com aquecimento interferiu negativamente, uma vez que as minicepas não apresentaram sobrevivência satisfatória para a produção de miniestacas, com ocorrência de mortalidade significativa das mesmas.

É perceptível uma queda na sobrevivência das minicepas quando a temperatura passa a diminuir (outono), onde a média geral de sobrevivência passou a ser de aproximadamente 60%, período correspondente a mais da metade das coletas realizadas (14 de um total de 21). Esse resultado contrapõe aos resultados encontrados por Rosa (2006), que relatou sobrevivência de minicepas em torno de 100%, após 14 coletas de brotações de *Eucalyptus dunnii*.

No entanto, alguns fatores que podem ajudar a explicar a mortalidade de minicepas no presente estudo, como o período em que as minicepas foram acometidas por oídio, em que, o maior grau de ataque registrado coincide com a estação do outono, quando houve uma diminuição da porcentagem de minicepas vivas. A figura 21 ilustra a situação registrada nesse período. O oídio do eucalipto, cujo agente etiológico é *Oidium eucalypti* Rostrup, é, segundo Alfenas et al. (2009), uma das principais doenças da cultura do eucalipto e ocorre principalmente em minijardins clonais cobertos e em casas de vegetação. Se não for rapidamente controlada pode causar perdas significativas (Brown e

Ferreira, 2000).

Figura 21 – Exemplares de minicepas de *Eucalyptus dunnii* com presença do fungo *Oidium eucalypti*



Fonte: Própria autora (2024)

Produtividade de brotos por metro quadrado

Assim como observado para os resultados de sobrevivência, na variável produtividade de brotos por metro quadrado, novamente não houve interação entre a suplementação com luz LED e os ambientes de cultivo. No entanto, isoladamente os tratamentos correspondentes aos ambientes de cultivo apresentaram eficiência produtiva diferente nos respectivos ambientes de cultivo estudados.

O estufim foi o ambiente de cultivo que apresentou melhor desempenho na produtividade de brotos por metro quadrado em todas as estações estudadas, esse resultado corrobora com o Oliveira (2016) em que o uso do estufim no jardim clonal de eucalipto permitiu o aumento da temperatura e concentração de CO₂ nas parcelas, ocasionando maior produção de estacas por minicepa em relação às que não foram conduzidas sob o estufim, sendo essa produção mais acentuada nos meses mais quentes. Além de evitar a dissipação do CO₂, o estufim possibilita o maior controle da temperatura interna do ambiente e mantém a umidade relativa do ar a níveis mais elevados. Pesquisas utilizando o estufim demonstram o potencial dessa estrutura na produção de mudas clonais de *Eucalyptus*, tal estrutura tem possibilitado ganhos significativos na produtividade dos minijardins clonais bem como no enraizamento dos materiais propagados (Assis, 2014; Batista et al., 2015; Somavilla, 2020).

Analisando-se de forma individual o ambiente estufim ao longo das estações nota-se que houve uma oscilação de produtividade de brotos por metro quadrado, esse fato corrobora com os resultados registrados na literatura ao empregar a técnica de miniestaquia para espécies de *Eucalyptus* (Wendling, 1999; Souza Junior e Wendling, 2003; Titon et al., 2003b; Wendling et al., 2003; Cunha et al., 2009; Rosa, 2006), em que o efeito de alta produção de brotações seguido de queda e novamente sucedida por uma alta produtividade é frequente. Esses efeitos podem estar relacionados ao vigor fisiológico das minicepas (Wendling, 1999; Higashi et al., 2002; Rosa, 2006), em que o balanço nutricional da minicepa e a retomada ao crescimento de novas brotações são fatores que variam em função da frequente coleta de miniestacas e desempenham papel fundamental para desencadear esse tipo de comportamento.

Outro aspecto importante desse estudo é a possibilidade de traçar uma relação da influência dos fatores ambientais na produção de brotos em minijardins clonais, bem como sobre os processos de enraizamento de miniestacas. Verifica-se um aumento de produtividade na mesma proporção em que houve aumento de temperatura ao longo dos meses que iniciou-se a primavera. Estudos desenvolvidos por Cunha (2009) reforçam que as condições meteorológicas condicionam significativamente a produção de miniestacas por minicepa. O autor observou que o aumento da temperatura no leito de cultivo, ocasionado pela época do ano, favoreceu positivamente a produção de miniestacas, independente do tipo de minijardim clonal (leito de areia ou tubete), reforçando a importância desses fatores.

O aumento da temperatura, até certo grau, favorece o processo de divisão celular e conseqüentemente a emissão de brotações e formação de raízes (Hartmann et al., 2011). Sendo assim, temperaturas mais elevadas (até certos limites) estão relacionadas à maior produtividade das cepas devido ao maior crescimento vegetativo encontrado nessas condições (Wendling et al., 1999). Cunha et al. (2009) e Ferriani et al (2011) também observaram aumento na produção de estacas de eucalipto e de *Piptocarpha angustifolia*, respectivamente, com o aumento da temperatura do ar no jardim clonal. Enquanto, o inverno é caracterizado pela redução do fotoperíodo, intensidade luminosa e temperatura, fatores que restringem o desenvolvimento das plantas (Nery, 2005), embora a influência do menor fotoperíodo no inverno seja o fator preponderante no metabolismo das plantas, influenciando na capacidade de brotar e crescer (Nilsson, 2022).

Em relação ao efeito da suplementação com luz LED na produção de miniestacas, não

houve diferença estatística entre os tratamentos estudados, porém em estudos anteriores realizados por Konzen et al. (2022), a suplementação com luz vermelha/vermelho distante (*red/far-red*) teve um efeito positivo significativo na produção de miniestacas. O número de brotações por metro quadrado ($NS\ m^{-2}$) variou ao longo dos meses e com diferentes tratamentos de luz e clones. Essas descobertas sugerem o potencial de otimização das técnicas de propagação clonal no cultivo de plantas de eucalipto. Um direcionamento a novos estudos é testar a suplementação por luz LED utilizando-se de outros espectros específicos.

Enraizamento

A sazonalidade climática observada em algumas regiões do Brasil, promove variação nas condições ambientais, que por sua vez, tem efeito sobre a indução dos processos rizogênicos dos propágulos vegetativos. Portanto, para obter sucesso nos processos de clonagem, um fator que deve ser observado é a estação do ano em que é realizada a coleta do material vegetal (Hartmann et al., 2011). Isso é validado pelos resultados obtidos no estudo, em que a porcentagem de enraizamento foi maior no verão, estação caracterizada pelo aumento das temperatura, com média geral de enraizamento superior a 60%, mesmo não ocorrendo interação dos tratamentos com suplementação de luz LED e os ambientes de cultivo.

Em contraste, na próxima estação (outono) com a diminuição do fotoperíodo e baixas temperaturas, a média de enraizamento passou a diminuir, com média geral de aproximadamente 48%, ainda que, não diferindo entre os tratamentos testados. Já na estação inverno, com a intensificação dos dias frios a porcentagem de enraizamento caiu para mais da metade do atingido no verão, com menos de 30% de miniestacas enraizadas.

A produção de miniestacas em minijardim clonal e seu posterior enraizamento variam conforme a sazonalidade no sul do Brasil, principalmente nas estações do outono e inverno (Pires et al., 2017). Nesse período ocorre diminuição da temperatura e do fotoperíodo, condições críticas para produção de novos propágulos (Konzen et al., 2018) e disponibilidade de mudas aptas para o plantio a campo. Para essa estação, no presente estudo verificou-se interação entre a suplementação por luz LED e o ambiente de cultivo com aquecimento. Miniestacas oriundas desse ambiente suplementadas com luz LED azul apresentaram maior porcentagem média de enraizamento, aproximadamente 35%, não diferindo significativamente daquelas miniestacas produzidas por brotos cultivados em

ambiente com aquecimento e mantidas apenas com luz natural, ou seja, sem suplementação por LED, com quase 30% de enraizamento.

O sucesso no transplante é variável entre outras espécies também, incluindo culturas agrícolas. Em estudos realizados por Poudel et al. (2008), a luz vermelha estimulou o enraizamento adventício em videiras. Enquanto nas espécies *Ficus benjamina* L. (Gabryszewska e Rudnicki 1997) e *Morinda citrifolia* L. (Baque et al. 2010), a combinação de luzes vermelhas e azuis não favoreceu a indução de raízes adventícias. No entanto, vale salientar que a suplementação de luz artificial ocorreu no ambiente de enraizamento. No presente estudo, o enriquecimento com luz LED foi feito apenas durante a produção das miniestacas.

O ambiente de cultivo estufim associado ao aquecimento foi o que apresentou melhor resultado geral para o enraizamento, o que corrobora com o encontrado por Khoshnevisan et al, (2013), que identificam o uso de estufas plásticas uma boa opção para contornar problemas com a produção das minicepas e enraizamento das miniestacas pois proporciona alterações no ambiente de desenvolvimento das plantas, como modificações no balanço de energia, temperatura, umidade e redução na transpiração. Desse modo, pode-se observar que o aumento promovido pelo estufim associado ao aquecimento nas variáveis ambientais, temperatura e intensidade luminosa (Figura 6) agiu positivamente na memória fisiológica das miniestacas para posterior enraizamento, sendo recomendado o seu uso na estação fria. Tendo em vista que, a emissão de brotações e formação de raízes, durante a estação fria, é favorecida quando o ambiente é condicionado ao aumento da temperatura, pois isso age positivamente no processo de divisão celular (Hartmann et al., 2011).

Variáveis fisiológicas

As variáveis de trocas gasosas são fundamentais para entender o desempenho fisiológico das plantas. A partir dos resultados oriundos de quatro avaliações ao longo do desenvolvimento do estudo, pode-se validar o quanto essas variáveis são dependentes e relativas em detrimento das condições ambientes em que estão sujeitas de acordo com as épocas do ano, a exemplo disso têm-se o comparativo entre a média geral da taxa fotossintética obtida no inverno $4,95 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ em contraste com o valor encontrado no verão $17,18 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Isso pode ser atribuído a fatores como a baixa intensidade luminosa natural nessa estação (Figuras 6 e 7), que pode ter limitado a

eficiência fotossintética, independentemente dos tratamentos aplicados.

A taxa fotossintética média de 4,95 indica uma atividade fotossintética reduzida, o que está alinhado com estudos que demonstram que a eficiência fotossintética é fortemente influenciada pela disponibilidade de luz, especialmente em condições de inverno (Taiz et al., 2017). A condição fisiológica das minicepas está relacionada ao genótipo utilizado e em função das condições ambientais como umidade relativa do ar, luminosidade, temperatura e concentração de CO₂ (Hartmann et al., 2011). As condições ambientais, quando favoráveis, reduzem o estresse da planta matriz maximizando o processo fotossintético e, conseqüentemente, o aumento nas taxas de crescimento (Lima et al., 2021).

Ainda em relação a taxa fotossintética, especialmente na primavera a suplementação por luz LED se mostrou eficiente para a variável, quando comparado a tratamentos que receberam apenas luz natural. Segundo Braga (2009) a radiação vermelha e a azul são as mais eficientes para otimizar várias respostas fisiológicas desejáveis nas plantas. Esse resultado também corrobora com autores Matsuda et al. (2004) em que concluíram que plantas de cafeeiro cultivadas sob luz vermelha, em combinação com a azul, mostraram maior taxa fotossintética e maior ativação no metabolismo do nitrogênio nas folhas.

Analisando-se isoladamente os resultados para a estação do inverno, é importante apontar a interação entre a suplementação por luz LED e os ambientes de cultivo na variável condutância estomática. O ambiente do tipo tradicional combinado com a luz led azul sugere um efeito mais pronunciado na abertura dos estômatos, possivelmente devido à sua influência nos mecanismos de regulação estomática, não diferindo das luzes vermelha e combinação de azul e vermelha. A condutância estomática é responsável pelo fluxo de entrada e saída de água e CO₂ pelo estômato; quanto menor sua abertura, maior a resistência estomática e a conseqüente diminuição na transpiração (Taiz et al., 2004).

A luz azul é conhecida por ativar fotorreceptores específicos, como as criptocromas e fototropinas, que modulam a abertura estomática (Kinoshita et al., 2001). No entanto, a ausência de diferença significativa entre a luz azul, vermelha e a combinação de ambas sugere que outros fatores, como a umidade relativa e a temperatura, também podem ter desempenhado um papel importante na regulação estomática no presente estudo.

A relação entre a concentração intercelular e atmosférica de CO₂ apresentou

diferença estatística, pontualmente no verão e apenas entre os ambientes de cultivo estudados. O ambiente tradicional apresentou a maior média (0.77), indicando uma maior eficiência na assimilação de CO₂. Isso pode estar relacionado ao fato de que nesse ambiente de cultivo tradicional, em condições ambientais naturais, permite um equilíbrio ideal entre luz, temperatura e umidade, fatores essenciais para a fotossíntese (Taiz et al., 2015). Em contraste, os ambientes aquecimento e estufim associado ao aquecimento apresentaram as menores médias (0.69 e 0.65, respectivamente). Isso pode sugerir que o estresse térmico causado pelo aquecimento nesses ambientes de cultivo, levou ao fechamento parcial dos estômatos, reduzindo a entrada de CO₂ e, conseqüentemente, a assimilação fotossintética. Isso está alinhado com estudos que mostram que o estresse térmico pode prejudicar a fotossíntese, especialmente em plantas C3 (Sage e Kubien, 2007).

Considerando de que a maior transpiração pela planta é benéfica, pois esse fator está diretamente correlacionado com a taxa fotossintética, o estudo demonstra que na estação do inverno apenas os ambientes de cultivo apresentaram diferença, o ambiente tradicional, embora com uma média menor, não diferiu estatisticamente do estufim, o que sugere que a transpiração pode ser mais influenciada pelas condições ambientais gerais do que pelos tratamentos específicos de luz LED.

Para a eficiência do uso da água os resultados para o verão, demonstram que essa variável é influenciada principalmente por fatores como temperatura e umidade, o ambiente aquecimento aumentou a média de WUE, contrastando com, o ambiente estufim associado ao aquecimento reduzindo consideravelmente essa média. Referente a interação das luzes com o ambiente, nota-se, que a luz natural tende a resultar em menor WUE em comparação com aqueles tratamentos que receberam a suplementação por luz LED. Esses resultados corroboram com estudos de Souza et.al (2018) e Carvalho et al (2011), que destacam a importância do controle ambiental para maximizar a eficiência do uso da água em plantas.

CONCLUSÕES

A sobrevivência das minicepas não foi influenciada pela suplementação por luz LED, o ambiente estufim associado ao aquecimento interferiu negativamente na manutenção das minicepas.

As lâmpadas LED não apresentaram efeito positivo nas variáveis vegetativas e de propagação das minicepas de *Eucalyptus dunnii*. Porém, o ambiente de cultivo estufim demonstrou ser eficaz para o desenvolvimento das brotações em todas as estações do ano.

A eficácia do enraizamento das miniestacas de *Eucalyptus dunnii* está associada principalmente às condições ambientais e a época do ano. Sendo o ambiente de cultivo estufim associado ao aquecimento uma alternativa para períodos com temperaturas baixas (inverno).

As variáveis de trocas gasosas foram influenciadas pela suplementação por lâmpadas LED e os ambientes de cultivo, principalmente na estação marcada pela diminuição da temperatura e fotoperíodo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADDINGTON, R. N. et al. **Stomatal sensitivity to vapor pressure deficit and its relationship to hydraulic conductance in *Pinus palustris***. *Tree Physiology*, v.24, n.5, p. 561-569, 2004.

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

ALVARES, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. M., & Sparovek, G. **Köppen's climate classification map for Brazil**. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711-728. 2013.

ASSIS T.F. **Hybrids and mini-cutting: a powerful combination that has revolutionized the *Eucalyptus* clonal forestry**. In: BMC proceedings. *BioMed Central*, v. 5, n. 7, 2011.

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 BiologyPlant*, 2010.

BATISTA, A. F.; SANTOS, G. A.; SILVA, L. D.; QUEVEDO, F. F.; ASSIS, T. F. **The use of mini-tunnels and the effects of seasonality in the clonal propagation of *Eucalyptus* in a subtropical environment**. *Australian Forestry*, v. 1, p. 1-8, 2015.

BATISTA, A.F.; SANTOS, G.A.; SILVA, L.D.; QUEVEDO, F.F.; ASSIS, T.F. **The use of mini-tunnels and the effects of seasonality in the clonal propagation of *Eucalyptus* in a subtropical environment**. *Australian Forestry*, v. 78, n. 2, p. 65-72, 2015.

BEDENDO, I.P. Oídios. In: AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A. **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**. v. 1, 5 ed. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2018, p.351-355.

BENTEC. *Eucalipto dunnii* (Nú/Peletizado), **Bentec Sementes, Insumos e Tecnologia**. Site: <http://www.bentecsementes.com.br/eucalipto-dunnii/>, 2017.

BOUSBAA, H. et al. **Eucalyptus biofuel study as alternative for diesel engine**. International Journal of Renewable Energy Technology, v. 10, n. 3, p. 247-281, 2019.

BRAGA, F. T.; PASQUAL, M.; CASTRO, E. M.; DIGNART, S. L.; BIAGIOTTI, G.; PORTO, J. M. P. **Qualidade de luz no cultivo in vitro de *Dendranthema grandiflorum* cv. Rage: características morfofisiológicas**. Ciência e Agrotecnologia, v.33, p.502- 508, 2009.

BRITO, P. S. **Morfoanatomia, composição química e atividades biológicas do óleo essencial de *Eucalyptus tereticornis* Sm.** 2022.

BRONDANI, G. E.; WENDLING, I.; GROSSI, F.; DUTRA, L. F.; ARAUJO, M. A. **Miniestaquia de *Eucalyptus benthamii* × *Eucalyptus dunnii*: Sobrevivência de minicepas e produção de miniestacas em função das coletas e estações do ano**. Ciência Florestal, Santa Maria, 2012, n. 22, p. 11-21.

BRONDANI, Gilvano Ebling; WENDLING, Ivar; DUTRA, Leonardo Ferreira; GROSSI, Fernando. **Propagação vegetativa de *Eucalyptus benthamii* x *Eucalyptus dunnii* por miniestaquia**. Colombo: Embrapa Florestas, 2009.

BROOKER, M. I. H.; KLEINIG, D. A. **Field guide to Eucalyptus**. 3. ed. Melbourne: Bloomings Books, 2006.

BROWN, B. N.; FERREIRA, F. A. Diseases during propagation of eucalypts. In: KEANE, P. J.; KILE, G. A.; PODGER, F. D.; BROWN, B. N. **Diseases and pathogens of Eucalypts**. CSIRO Publish, Collingwood, p. 119 – 151, 2000.

CANGUÇU, V. et al. **Mini-tunnel models influence the productivity of Eucalyptus mini-stumps**. Bosque, v. 43, n. 3, p. 211-219, 2022.

CARVALHO, L. M. et al. **Transpiração em espécies de eucalipto: relação com a disponibilidade hídrica.** *Revista Árvore*, 2011.

CORREIA, L. Q. **Avaliação comparativa de SNPs e microssatélites para identificação individual, determinação de parentesco e ancestralidade em espécies de Eucalyptus (Dissertação de mestrado).** Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2011.

CUNHA, A. C. M. C. M.; PAIVA, H. N.; LEITE, H. G.; BARROS, N. F.; LEITE, F. P. **Relações entre variáveis climáticas com produção e enraizamento de miniestacas de eucalipto.** *Revista Árvore*, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 195-203, 2009.

DOBNER JR., M; BATISTA, K. M.; SARTORIO, I. P.; ARCE, J. E.; QUADROS, D.S. **Crescimento e desempenho econômico de Eucalyptus dunnii em diferentes sítios no planalto sul do Brasil.** *Floresta (UFPR IMPRESSO)*, v. 47, p. 397- 406, 2017.

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

EMBRAPA. **O eucalipto.** Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/florestas/transferencia-de-tecnologia/eucalipto>. Acesso em: 16 dez. 2024.

FERRIANI, A. P.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; HELM, C. V.; BOZA, A.; WENDLING, I.; KOEHLER, H. S. **Produção de brotações e enraizamento de miniestacas de Piptocarpha angustifolia.** *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 31, n. 67, p. 257 - 264, 2011.

FLEXAS, J., et al. (2016). **Photosynthesis and photosynthetic efficiencies along the terrestrial plant's phylogeny: lessons for improving crop photosynthesis.** *The Plant Journal*, 85(1), 1-15. 2016.

FONSECA, S. M. et al. **Manual Prático de Melhoramento Genético do Eucalipto**. Viçosa: UFV, 2010.

FLORES, T. B.; ALVARES, C. A.; SOUZA, V. C.; STAPE, J. L. *Eucalyptus no Brasil: zoneamento climático e guia de identificação*. Piracicaba: IPEF, 2016. 448 p.

GABRYSZEWSK A.E, RUDNICKI R.M. **The effects of light quality on the growth and development of shoots and roots of *Ficus benjamina* in vitro**, 1997.

GRANT, J.C.; NICHOLS, J.D.; SMITH, R.G.B.; BRENNAN, P.; VANCLAY, J.K. **Site index prediction of *Eucalyptus dunnii* Maiden plantations with soil and site parameters in sub-tropical eastern Australia**. *Australian Forestry*, 2010.

GRUBER, Y. B. G. **Otimização de lâmina de irrigação na produção de mudas clonais de eucalipto (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* var. *plathyphylla*)**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 2006.

HARTMANN, H. T. et al. **Plant propagation principles and practices**. 1. ed. Pearson Education Limited, 2014, 927 p.

HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E.; DAVIES JÚNIOR, F. T.; GENEVE, R. L. **Plant propagation - principles and practices**. New York: Prentice-Hall International, 2011. 770 p.

HIGASHI, E. N. et al. **Nutrição e adubação em minijardim clonal hidropônico de *Eucalyptus***. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais - IPEF, 2002. 21 p.

IBÁ. 2024. Relatório 2024. São Paulo: Indústria Brasileira de Árvores.

KHOSHNEVISAN, B.; RAFIEE, S.; MOUSAZADEH, H. **Environmental impact assessment of open field and greenhouse strawberry production**. *European Journal of*

Agronomy, v. 50, p. 29-37, 2013.

KINOSHITA, T., DOI, M., SUETSUGU, N., KAGAWA, T., WADA, M., & SHIMAZAKI, K. I. . **Phot1 and phot2 mediate blue light regulation of stomatal opening.** 2001.

KONZEN, E. R., NAVROSKI, M. C., PEREIRA, M. O., NASCIMENTO, B., MENEGUZZI, A., e SOUZA, P. F. **Genetic variation for growth variables of *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cambage and *E. smithii* R. T. Baker provenances in Southern Brazil.** Cerne, 2017.

KONZEN, Enéas Ricardo et al. **Artificial light improves productivity of mini-cuttings in a clonal minigarden of *Eucalyptus benthamii* and *E. dunnii*.** *Southern Forests: a Journal of Forest Science*, 2022.

KRUGNER, T. L.; AUER, C. G. Doenças dos eucaliptos. In: KIMATI, H. et al. **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas.** 4.ed. São Paulo: Agronômica CERES, 2005. p. 319-332.

LIMA, M. S. et al. **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.

MARTINI, A. J. *A introdução do eucalipto no Brasil completa 100 anos.* Blog Tudo Sobre Plantas, 25 out. 2010. Disponível em: <https://tudosobreplantas.wordpress.com/2010/10/25/a-introducao-do-eucalipto-no-brasil-completa-100-anos/>. Acesso em: 2 abr. 2025.

MATSUDA , R.; OHASHI-KANEKO, K.; FUJIWARA , K.; GOTO , E.; KURATA , K. **Photosynthetic characteristics of rice leaves grown under red light with or without supplemental blue light.** *Plant and Cell Physiology*, v.45, p.1870-1874, 2004.

MOREIRA, P. et al. **Chemical composition and effect against skin alterations of bioactive extracts obtained by the hydrodistillation of *Eucalyptus globulus* leaves.** *Pharmaceutics*, v. 14, n. 3, p. 561, 2022.

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

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

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

OLIVEIRA, M. F. C. et al. **Production and quality of Eucalyptus minicuttings using kaolin-based particle films**. Journal of Forestry Research, v. 32, n. 3, p. 953-965, 2021.

PAIVA, H.N.; JACOVINE, L.A.G.; TRINDADE,C.; RIBEIRO,G.T. Cultivo de eucalipto: implantação e manejo. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2011, 354p

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T. dos; FERREIRA, C. A. **Eucaliptos indicados para plantio no Estado do Paraná**. Colombo: Embrapa Florestas CNPF, 2006.

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

PRADO, C. H. B. A.; CASALI, A. A. **Fisiologia vegetal: práticas em relações hídricas, fotossíntese e nutrição mineral**. Barueri, sp: Editora Manole, 2006.

ROSA, L. S. **Adubação nitrogenada e substratos na miniestaquia de Eucalyptus dunnii** Maiden. 2006. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)- Universidade Federal do Paraná, 2006.

SAGE, R. F.; KUBIEN, D. S. **The temperature response of C3 and C4 photosynthesis.** *Plant, Cell & Environment*, 2007.

SILVA, J. C. et al.. **Eucalipto: a madeira do futuro.** Revista da Madeira, edição especial, 114p. 2001.

SILVA, P. H. M.; PAULA, R. C.; MORAES, M. L. T. **Melhoramento de Populações de Eucaliptos.** Piracicaba: IPEF, 2018. 108p.

SOMAVILLA, L. M. **Produtividade de minicepas e enraizamento de miniestacas de Eucalyptus spp. cultivadas em diferentes manejos de minijardim clonal.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2020.

SOUZA JUNIOR, L.; WENDLING, I. Propagação vegetativa de *Eucalyptus dunnii* via miniestaca de material juvenil. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 46, p. 21-30, 2003.

SOUZA, J. P. et al. **Transpiração em ambientes semiáridos: estratégias de conservação de água.** *Revista Brasileira de Geografia Física*, 2018.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2008. 820 p.

TAIZ, L., ZEIGER, E., MULLER, I. M., e MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal.** Artmed Editora, 2017.

TAIZ, L., ZEIGER, E., MULLER, I. M., e MURPHY, A. **Plant Physiology and Development** (6th ed.). Sinauer Associates. 2015.

TRUEMAN, S. J. et al. **Tissue culture of Corymbia and Eucalyptus.** *Forests*, v. 9, n. 2, p. 84, 2018.

WENDLING, I. et al. **Propagação clonal de híbridos de Eucalyptus spp. por miniestaquia.** Revista Árvore, v.24, n.1, p.181-186, 2000.

WENDLING, I.; DUTRA, L.F. **Produção de mudas de eucalipto.** Colombo: Embrapa Florestas, 2010. p.13-47.

XAVIER, A.; SANTOS, G. A. Clonagem em espécies nativas. In: ROCHA, M. G. B. **Melhoramento de espécies arbóreas nativas.** Belo Horizonte: DDFS/IEF, 2002. 173p.

XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R. S. **Silvicultura clonal: princípios e técnicas.** Viçosa: Ed. UFV, 2013. 279 p.

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