

**INSTITUTO AGRONÔMICO  
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA  
TROPICAL E SUBTROPICAL**

**Fotoperíodo e ambiente de cultivo na produção de mudas  
enxertadas de pimentão: comparação entre sistema *indoor* e  
estufa agrícola**

**EDUARDO ALVES DE OLIVEIRA**

**Orientador: Dr. Luís Felipe Villani  
Purquerio**

**Coorientador: Dr. Fernando Cesar  
Sala**

Defesa submetida como requisito parcial  
para obtenção do grau de **Mestre** em  
Agricultura Tropical e Subtropical, área  
de concentração em Sistemas de Manejo  
e Qualidade Ambiental.

Campinas SP  
Abril, 2026

Ficha elaborada pela bibliotecária do Seção de Documentação Científica do Instituto Agronômico

O48f Oliveira, Eduardo Alves de  
Fotoperíodo e ambiente de cultivo na produção de mudas enxertadas de pimentão: comparação entre sistema *indoor* e estufa agrícola / Eduardo Alves de Oliveira. Campinas, 2026. 31fls

Orientador: Luís Felipe Villani Purquerio  
Dissertação (Mestrado) Agricultura Tropical e Subtropical – Instituto Agronômico

1. *Capsicum annuum* L., 2. Produção de mudas 3. Enxertia  
4. Iluminação artificial . 5 LED 6. Cultivo vertical *indoor*.  
I. Purquerio, Luís Felipe Villani. II. Título

CDD.631.5309



GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO  
SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO  
**AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA DOS AGRONEGÓCIOS**  
**INSTITUTO AGRÔNOMICO**




Pós-Graduação – Agricultura Tropical e Subtropical  
Reconhecimento Homologado pela Portaria MEC Nº 609 de 14/03/2019 - D.O.U. 18/03/2019

## ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO


Aos 27 de março de 2026, às 09h00, reuniu-se a banca examinadora homologada pelo Programa de Pós- Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, composta pelos membros abaixo listados visando à defesa de dissertação de mestrado de Eduardo Alves de Oliveira, para obtenção do título de "**MESTRE**", conforme Processo SAA nº PRT6913/2024-28. A defesa de dissertação foi realizada em formato híbrido, sob a presidência do Prof. Dr. Luis Felipe Villani Purquerio, orientador do aluno, em sessão pública aberta. Iniciados os trabalhos, o candidato submeteu-se ao exame de sua dissertação, intitulada "Fotoperíodo e ambiente de cultivo na produção de mudas enxertadas de pimentão". Terminado o exame, procedeu-se ao julgamento, cujo resultado foi o seguinte:

Prof. Dr. Luis Felipe Villani Purquerio - IAC	<b>APROVADO ( X ) REPROVADO ( )</b>
Prof. Dr. Fernando Alves de Azevedo - IAC	<b>APROVADO ( X ) REPROVADO ( )</b>
Prof. Dr. Thiago Leandro Factor - IAC	<b>APROVADO ( X ) REPROVADO ( )</b>


Apurados os resultados, constatou-se que o candidato foi habilitado, fazendo jus, portanto, ao título de "**MESTRE EM AGRICULTURA TROPICAL E SUBTROPICAL**", na área de concentração: Sistema de Manejo e Qualidade Ambiental, do que, para constar, lavrou-se a presente ata, assinada pelos membros da comissão examinadora:

Documento assinado digitalmente  
 **LUIS FELIPE VILLANI PURQUERIO**  
Data: 27/03/2026 13:52:08-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Luis Felipe Villani Purquerio - IAC

Documento assinado digitalmente  
 **FERNANDO ALVES DE AZEVEDO**  
Data: 27/03/2026 12:20:20-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Fernando Alves de Azevedo – IAC (participação remota)

Documento assinado digitalmente  
 **THIAGO LEANDRO FACTOR**  
Data: 27/03/2026 12:36:10-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Thiago Leandro Factor – APTA-IAC (participação remota)

## Agradecimentos

Ao meu orientador, Prof. Dr. Luis Felipe, pela orientação, confiança, disponibilidade e pelas valiosas contribuições científicas ao longo de todo o desenvolvimento da dissertação.

Ao Instituto Agronômico de Campinas (IAC) e ao Laboratório de Cultivo *Indoor* pela infraestrutura disponibilizada, pelo suporte técnico-científico e pelo ambiente de pesquisa, que foram essenciais para a condução das atividades experimentais e para o fortalecimento da minha formação acadêmica.

Agradeço, primeiramente, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro concedido, fundamental para a viabilização e desenvolvimento deste trabalho.

À Feltrin Sementes, pelo apoio institucional, pela confiança depositada e pelas oportunidades de aprendizado técnico e científico, fundamentais para o aprimoramento profissional e para a aplicação prática dos conhecimentos adquiridos ao longo do mestrado.

À minha parceira Natalia Albuquerque, companheira presente em todos os momentos, estando sempre ao meu lado com afeto, atenção e cuidado independente da circunstância.

À minha família, em especial a minha mãe Sinira ap. da Silveira, e pai, Evanilson Alves de Oliveira, e demais familiares, Gustavo Alves de Oliveira e Eloisa Alves de Oliveira pelo apoio incondicional, incentivo constante, paciência e compreensão ao longo dessa caminhada.

Ao Luis Gustavo, gerente da Feltrin Sementes, pelo apoio profissional, compreensão e incentivo, fundamentais para conciliar as atividades acadêmicas e profissionais durante o período do mestrado.

Aos meus amigos Bruno Laurindo, Eduardo Fortunato, Livia Carvalho, Júlia Guidotti, Rafael Tavares e Renata Laurindo, que estiveram presentes direta ou indiretamente, oferecendo apoio, amizade e motivação nos momentos mais desafiadores.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho e para minha formação acadêmica, pessoal e profissional.

## Sumário

Resumo .....	iv
Abstract.....	v
1. INTRODUÇÃO GERAL .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1 Avanços na produção de mudas de pimentão enxertadas .....	3
2.2 Cultivo vertical <i>indoor</i> e número de horas de luz no pegamento da enxertia .....	4
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	7
CAPÍTULO 1 .....	9
Resumo .....	9
Abstract.....	10
Introdução.....	11
Material e Métodos .....	12
Produção de mudas pré-enxertia (enxerto e porta-enxerto) .....	13
Produção de mudas enxertadas e aclimação inicial em campo .....	14
Análise estatística .....	16
Resultados e Discussão.....	16
Condições microclimáticas na estufa agrícola e no Laboratório de Cultivo <i>Indoor</i> e ciclo produtivo.....	16
Produção do enxerto e porta-enxerto pré-enxertia .....	18
Enxertia e aclimação a campo das mudas enxertadas .....	21
Consideração geral .....	23
Conclusão .....	24
Agradecimentos .....	24
Referências bibliográficas .....	25
ANEXOS.....	29

## Manejo da iluminação no desenvolvimento de mudas enxertadas de pimentão produzidas em estufa agrícola e em cultivo vertical *indoor*

### Resumo

A produção de mudas enxertadas de pimentão é essencial para a obtenção de plantas vigorosas e produtivas, sendo tradicionalmente realizada em estufas agrícolas de diferentes graus tecnológicos. O cultivo vertical *indoor* com iluminação artificial surge como alternativa por permitir maior controle ambiental, padronização e redução do ciclo de produção para produção de mudas. Entretanto, a definição do fotoperíodo adequado para o pegamento da enxertia é fundamental para assegurar a qualidade das mudas. A presente pesquisa foi dividida em duas etapas sendo que a primeira comparou a produção de mudas de pimentão (enxerto - Jaguariuna e porta-enxerto - Arcanjo) em estufa agrícola e cultivo vertical *indoor* e a segunda teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes tempos de exposição à luz (6, 9, 12 e 15 h) após a enxertia em mudas de pimentão produzidas em estufa agrícola e em cultivo *indoor*. Na primeira etapa o experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial  $2 \times 2$ , com 10 repetições. Foram avaliadas a altura do hipocótilo (AH) (cm), número de folhas (NF) e diâmetro do caule (DC) (cm), massa fresca (MFPA) e seca (MSPA) da parte aérea e da raiz (MFR e MSR). Na segunda etapa o experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial  $2 \times 4$ , com 3 repetições. Foram avaliados diâmetro do hipocótilo, tempo de cicatrização, sobrevivência das plantas enxertadas, altura da planta, número de bifurcações e flores emitidas nas plantas avaliadas aos 61 DAS. Plantas de enxerto (Jaguariuna) e porta enxerto (Arcanjo) produzidas no cultivo *indoor*, pré-enxertia, apresentaram maior massa seca da parte aérea ( $2,2 \text{ g planta}^{-1}$ ) e raiz ( $0,07 \text{ g planta}^{-1}$ ) em relação as produzidas na estufa agrícola, com precocidade de 5 dias (20%). A sobrevivência das mudas enxertadas foi de 87% após a enxertia e 100% quando transplantadas. Mudas enxertadas produzidas no *indoor* e posteriormente transplantadas para o campo aberto apresentaram precocidade produtiva medida em número de bifurcações (11) e flores (20) aos 61 DAS. Concluímos que as mudas de pimentão enxertadas cultivadas no sistema vertical *indoor* tiveram um ciclo de produção mais curto (20%) de alta qualidade.

**Palavras-chave:** *Capsicum annuum* L., enxertia, produção de mudas, iluminação artificial LED, cultivo vertical *indoor*.

## Lighting management in the development of grafted sweet pepper seedlings produced in agricultural greenhouses and in *indoor* vertical farming systems

### Abstract

The production of grafted bell pepper (*Capsicum annuum* L.) seedlings is essential for obtaining vigorous and productive plants, traditionally carried out in agricultural greenhouses of varying technological levels. *Indoor* vertical farming with artificial lighting emerges as an alternative that allows for a greater environmental control, standardization, and a reduction in the production cycle for seedlings. However, defining the appropriate photoperiod for grafting success is fundamental to ensuring seedling quality. This research was divided into two stages. The first compared the production of bell pepper seedlings (scion - Jaguariúna and rootstock - Arcanjo) in a greenhouse and *indoor* vertical farm, and the second aimed to evaluate the effect of different light exposure times (6, 9, 12, and 15 h) after grafting on bell pepper seedlings grown in a greenhouse and *indoor* farm. In the first stage, the experiment was conducted in a randomized block design, in a 2 × 2 factorial scheme, with 10 replications. Hypocotyl height and diameter (HH, HD), number of leaves (NL), stem diameter (SD), shoot and root fresh (SFW and RFW) and dry weight (SDW and RDW) were evaluated. In the second stage, the experiment was conducted in a randomized block design, in a 2 × 4 factorial scheme, with 3 replications. Hypocotyl diameter (HD), cicatrization time, survival of grafted plants, plant height (PH), number of bifurcations and flowers emitted in plants evaluated at 61 DAS were assessed. Scion (Jaguariúna) and rootstock (Arcanjo) plants grown in the *indoor* vertical farm showed higher SDW (2.2 g plant<sup>-1</sup>) and RDW (0.07 g plant<sup>-1</sup>) compared to those grown in the greenhouse, with a precocity of 5 days (20%). The survival rate of grafted seedlings was 87% after grafting and 100% when transplanted. Grafted seedlings grown in an *indoor* farm and subsequently transplanted to the open field showed early productive maturity measured by the number of bifurcations (11) and flowers (20) at 61 DAS. We conclude that *indoor* vertical farms are suitable for pre- and post-graft bell pepper seedling production, allowing for a shorter growth cycle (20 %) of high-quality plants.

**Keywords:** *Capsicum annuum* L., grafting, seedling production, LED artificial lighting, *indoor* vertical farming.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O cultivo de pimentão (*Capsicum annuum* L.) no Brasil possui grande relevância econômica e social, configurando-se como uma das principais hortaliças produzidas e consumidas no país, com expressiva participação no mercado interno e potencial de exportação. Segundo dados do IBGE (2017), a produção nacional de pimentão atingiu aproximadamente 225 mil toneladas, concentrando-se majoritariamente nas regiões Sudeste, Nordeste e Sul, responsáveis por cerca de 90% do volume produzido. A elevada demanda por frutos de qualidade impõe desafios crescentes aos sistemas produtivos, especialmente no que se refere à obtenção de mudas vigorosas e uniformes, etapa fundamental para o sucesso da cultura.

A qualidade das mudas é influenciada por diversos fatores, incluindo a qualidade das sementes, o manejo nutricional e hídrico, o controle fitossanitário e o tipo de ambiente de produção, seja em estufas agrícolas ou em sistema *indoor*. Nesse contexto, a produção de mudas de hortaliças tem se tornado uma atividade altamente especializada, frequentemente realizada por viveiristas profissionais, desvinculada do produtor final, em função da crescente demanda por investimento tecnológico e padronização dos processos produtivos. Essa profissionalização visa garantir maior eficiência, inovação e qualidade das mudas disponibilizadas ao mercado.

Entre as estratégias adotadas para melhorar o desempenho agrônômico do pimentão, a enxertia tem se destacado como uma técnica eficaz, sobretudo por proporcionar maior resistência a doenças de solo, além de contribuir para o aumento da produtividade e da qualidade dos frutos. A enxertia baseia-se na união de um enxerto, geralmente proveniente de cultivares de alto desempenho produtivo, com um porta-enxerto selecionado por sua resistência e adaptação às condições edafoclimáticas, permitindo a combinação de características desejáveis em uma única planta. Contudo, a produção de mudas enxertadas demanda maior nível tecnológico, mão de obra especializada e controle rigoroso das condições ambientais, o que eleva os custos do processo e reforça a necessidade de otimização das etapas produtivas, especialmente durante o período crítico de pegamento do enxerto.

Diante das mudanças climáticas e da crescente busca por sistemas produtivos mais eficientes e sustentáveis, alternativas de cultivo protegido têm ganhado destaque,

abrangendo desde estufas agrícolas convencionais até sistemas de cultivo vertical *indoor* com iluminação artificial. Esses sistemas permitem maior controle sobre variáveis ambientais, como temperatura, umidade e luminosidade, reduzindo riscos climáticos e possibilitando maior previsibilidade na produção. A agricultura vertical *indoor* caracteriza-se pela substituição total da luz solar por fontes artificiais, com destaque para o uso de diodos emissores de luz (LEDs), que apresentam elevada eficiência energética, baixo aquecimento, longa vida útil e possibilidade de ajuste do espectro luminoso de acordo com as exigências fisiológicas das plantas.

O uso de LEDs em sistemas verticais possibilita a instalação de múltiplas camadas de cultivo, otimizando o uso do espaço e tornando o sistema particularmente atrativo para áreas com limitação territorial ou para operações que demandam alta produtividade por unidade de área. Estudos demonstram que, mesmo com valores de densidade de fluxo de fótons fotossintéticos inferiores à radiação solar incidente em campo aberto, a iluminação artificial é suficiente para o cultivo de diversas hortaliças, como folhosas, tomate e microverdes, garantindo produtividade e qualidade satisfatórias. No Brasil, pesquisas indicam que a produção *indoor* de mudas pode reduzir significativamente o tempo de cultivo, como observado em experimentos com alface, sugerindo potencial aplicação semelhante para mudas de pimentão.

No caso específico das mudas enxertadas, o período pós-enxertia é considerado crítico, sendo altamente dependente das condições ambientais, especialmente da luminosidade. A manipulação do fotoperíodo por meio da iluminação artificial surge como uma alternativa promissora para acelerar o pegamento do enxerto e melhorar a qualidade final das mudas. Entretanto, apesar dos avanços tecnológicos na iluminação LED e de seu amplo uso em sistemas de cultivo *indoor*, ainda são escassas as informações científicas relacionadas à determinação do número ideal de horas de luz durante o pegamento da enxertia em pimentão. Além disso, a adaptabilidade das mudas produzidas em sistemas verticais *indoor* às condições de cultivo em estufa ou a campo aberto ainda necessita de maior aprofundamento científico.

Dessa forma, torna-se fundamental investigar o efeito do número de horas de luz no desenvolvimento e no pegamento de mudas enxertadas de pimentão produzidas em sistemas vertical *indoor* com iluminação LED, comparando seu desempenho com mudas produzidas em estufa agrícola convencional. Esses estudos contribuem para o avanço do conhecimento técnico-científico e para a consolidação de sistemas produtivos mais eficientes, sustentáveis e economicamente viáveis para a cadeia produtiva do pimentão.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Avanços na produção de mudas de pimentão enxertadas

O pimentão (*Capsicum annuum* L.) é uma das hortaliças de maior importância econômica no Brasil, destacando-se pelo elevado consumo e ampla distribuição geográfica da produção. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017), a produção nacional atingiu aproximadamente 225 mil toneladas, concentrando-se majoritariamente nas regiões Sudeste, Nordeste e Sul, que, em conjunto, respondem por cerca de 90% do volume produzido. A relevância da cultura está associada não apenas à produtividade, mas também à exigência crescente por frutos de elevada qualidade comercial.

A obtenção de elevada produtividade e frutos com padrão comercial adequado está diretamente relacionada à qualidade das mudas utilizadas no estabelecimento da lavoura. A fase de produção de mudas é considerada crítica, uma vez que influencia o desempenho inicial das plantas após o transplante e, conseqüentemente, o potencial produtivo da cultura. Aspectos como a qualidade das sementes, o manejo nutricional e hídrico, o controle fitossanitário e o tipo de ambiente de produção, seja em estufas agrícolas ou cultivo vertical *indoor*, são determinantes para o desenvolvimento adequado das mudas (Jorge et al., 2016).

Nas últimas décadas, a produção de mudas de hortaliças passou por um processo de profissionalização, sendo majoritariamente realizada por viveiristas especializados e desvinculada do produtor final. Esse modelo produtivo surgiu da necessidade de maior investimento em infraestrutura, tecnologia e mão de obra qualificada, visando garantir padronização, inovação e maior eficiência no processo de produção de mudas. Como consequência, a qualidade do material propagativo disponível no mercado foi significativa.

Entre as estratégias adotadas para melhorar o desempenho agrônômico do pimentão, a enxertia tem se consolidado como uma técnica eficaz. Diversos estudos relatam que o uso de porta-enxertos resistentes contribui para o controle de doenças de solo, além de promover incrementos na produtividade e na qualidade dos frutos (Andriolo et al., 1997). A técnica consiste na união de duas plantas distintas, em que o enxerto, responsável pela produção dos frutos, é associado a um porta-enxerto selecionado por sua

resistência, vigor e adaptação às condições edafoclimáticas locais, resultando em uma planta com características superiores (González, 1999).

Apesar das vantagens agronômicas, a produção de mudas enxertadas demanda maior nível tecnológico e controle rigoroso das condições ambientais, especialmente durante o período de pegamento do enxerto, o que eleva os custos do processo produtivo (Leonard & Romano, 2004). Dessa forma, há crescente interesse no desenvolvimento de estratégias que aumentem a eficiência da produção e agreguem valor às mudas enxertadas. Nesse contexto, novas abordagens têm sido investigadas, incluindo o uso de sistemas de cultivo vertical *indoor*, nos quais variáveis ambientais, como a iluminação artificial, podem ser manipuladas de forma precisa. A determinação do número ideal de horas de luz durante o período de pegamento do enxerto emerge como um fator-chave para a otimização da qualidade e do desempenho das mudas enxertadas de pimentão.

## **2.2 Cultivo vertical *indoor* e número de horas de luz no pegamento da enxertia**

Diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas e da necessidade de sistemas produtivos mais eficientes e previsíveis, alternativas de cultivo protegido têm ganhado destaque na agricultura moderna. Esses sistemas abrangem desde estufas agrícolas e casas de vegetação até sistemas de cultivo vertical *indoor* com iluminação artificial, os quais permitem maior controle das condições ambientais e redução da exposição das plantas a estresses abióticos.

O uso de estufas agrícolas, com ou sem controle climático, já é amplamente difundido e possibilita a proteção das culturas contra eventos meteorológicos extremos, além de garantir a entrada da radiação solar necessária à fotossíntese. Em contraste, a agricultura vertical *indoor* caracteriza-se pela substituição total da luz solar por iluminação artificial em ambientes fechados, nos quais fatores como temperatura e umidade são ativamente controlados (Kozai & Niu, 2020). Esse modelo produtivo oferece um nível de controle ambiental significativamente superior ao das casas de vegetação convencionais.

Nesse contexto, os diodos emissores de luz (LEDs) têm se consolidado como a principal fonte luminosa utilizada em sistemas *indoor*, em função de sua elevada eficiência energética, baixa emissão de calor, longa vida útil e possibilidade de ajuste do espectro luminoso (Massa et al., 2008; Morrow, 2008; Yeh & Chung, 2009; Kozai et al.,

2019). A baixa dissipação de calor permite a instalação das luminárias próximas ao dossel das plantas, aumentando a eficiência no aproveitamento da luz e reduzindo perdas energéticas. Além disso, os LEDs podem proporcionar economia de até 80% no consumo de energia elétrica quando comparados a sistemas de iluminação convencional, mantendo níveis satisfatórios de emissão luminosa mesmo após longos períodos de uso (Morrow, 2008).

A verticalização do cultivo é viabilizada pela organização do sistema em camadas ou layers, nas quais cada unidade produtiva é composta pelo conjunto planta–fonte luminosa. Esse arranjo permite o uso mais eficiente do espaço e favorece o aumento da produtividade por área cultivada. Estudos indicam que, embora a densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) utilizada em fazendas verticais represente apenas uma fração da radiação solar em condições de campo, essa intensidade luminosa é suficiente para o cultivo de diversas hortaliças, incluindo folhosas, tomate e microverdes (Fu et al., 2012; Cha et al., 2012; Samuoliene et al., 2013; Virsile & Sirtautas, 2013; Gerovac et al., 2016; Ying et al., 2020; Kim et al., 2021).

No Brasil, a produção *indoor* de mudas de hortaliças tem sido apontada como alternativa viável para apoiar a agricultura convencional, principalmente pela redução do tempo de produção. Resultados obtidos em laboratório *indoor* do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) indicaram a possibilidade de antecipação do ciclo de produção de baby leaf de alface em até 30%, sugerindo que benefícios semelhantes possam ser observados na produção de mudas de pimentão.

Durante o período de pegamento da enxertia, as mudas apresentam elevada sensibilidade às condições ambientais, sendo a iluminação um fator determinante para o sucesso dessa fase. O manejo do fotoperíodo por meio da iluminação artificial pode acelerar o processo de cicatrização e união entre enxerto e porta-enxerto, contribuindo para a uniformidade e qualidade das mudas. Entretanto, apesar dos avanços na tecnologia de iluminação LED e de sua ampla aplicação em sistemas *indoor*, a literatura científica carece de informações específicas sobre o número ideal de horas de luz para o pegamento da enxertia em pimentão.

O controle preciso do espectro, da intensidade luminosa e do fotoperíodo proporcionado pelos sistemas LED abre novas possibilidades para o aprimoramento da produção de mudas enxertadas (Hamedalla et al., 2022). Além do potencial de aumento da eficiência fotossintética, o cultivo vertical *indoor* permite o uso racional de recursos como água e energia, tornando-se uma alternativa promissora do ponto de vista ambiental e econômico

(Silva, 2016). Contudo, a adaptabilidade das mudas produzidas sob essas condições ao ambiente externo ainda necessita de maior investigação. Avaliar se mudas enxertadas produzidas em sistemas verticais *indoor* apresentam desempenho superior em comparação às produzidas em estufa agrícola convencional é fundamental para a consolidação dessa tecnologia na cadeia produtiva do pimentão.

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andriolo JL; Duarte TS; Ludke L; Skrebssky EC. 1997. Crescimento e desenvolvimento do tomateiro cultivado em substrato com fertirrigação. *Horticultura Brasileira* 15: 28-32.

Cha, M. K., Kim, J.-S., Cho, Oung Y. (2012). Growth Response of Lettuce to Various Levels of EC and Light Intensity in Plant Factory. *Journal of Bio-Environment Control*, 21(4), 305–311.

Fu, W., Li, P., Wu, Y. (2012). Effects of different light intensities on chlorophyll fluorescence characteristics and yield in lettuce. *Scientia Horticulturae*, 135, 45-51.

Gerovac, J. R.; Craver, J. K.; Boldt, J. K.; Lopez, R. G. Light intensity and quality from sole-source light-emitting diodes impact growth, morphology, and nutrient content of brassica microgreens. *HortScience*, v. 51, n. 5, p. 497–503, 2016. Ying, Q.,

Kong, Y., Jones-Baumgardt, C., Zheng, Y. (2020). Responses of yield and appearance quality of four Brassicaceae microgreens to varied blue light proportion in red and blue light-emitting diodes lighting. *Scientia Horticulturae*, 259, 108857.

Gonzalez, J. El injerto en hortalizas. In: Vilarnau, A.; Gonzalez, J. Planteles: semilleros, viveros. Reus : Ediciones de Horticultura, 1999. Cap.9, p.121-128.

Hamedalla, A. M., Ali, M. M., Ali, W. M, Ahmed, M, A. A., Kaseb, M. O., Kalaji, H. M., Gajcwołka, J., & Yousef, A. F (2022). Increasing the performance of cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings by LED.

IBGE/SIDRA. Levantamento sistemático da produção agrícola. 2017. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/pimentao/br>> Acesso em 12 Maio. 2024

Jorge, L. A. C.; Silva, T. T. R.; Carvalho, M. G. Produção de mudas e impacto dos sistemas de produção: uma revisão. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*  
Fernández, V., Brown, P. H. (2013). From plant surface to plant metabolism: the uncertain fate of foliar-applied nutrients. *Frontiers in plant science*, 4, 289.

- Kim, J. K., Kang, H. M., Na, J. K., Choi, K. Y. (2019). Changes in growth characteristics and functional components of *Lactuca indica* L. ‘Sunhyang’ baby leaf vegetable by light Intensity and cultivation period. *Horticultural Science and Technology*, 37(5), 579-588.
- Kozai, T., Niu, G. Role of the plant factory with artificial lighting (PFAL) in urban áreas. In: *Plant Factory*. 2. Ed. Academic Press, 2020, 7 - 34.
- Leonardi, C., & Romano, D.(2004). Recent issues on vegetable grafting. *Acta Horticulturae*, 631, 163-174. <https://doi.org/1017660/ActaHortic.2004.631.21>
- Massa, G. D., Kim, H. H., Wheeler, R. M., e Mitchell, C. A. (2008). Plant productivity in response to LED lighting. *HortScience*, 43(7), 1951-1956.
- Morrow, R. C. (2008). LED lighting in horticulture. *HortScience*, 43(7), 1947-1950.
- Samuolienė, G., Brazaitytė, A., Jankauskienė, J., Viršilė, A., Sirtautas, R., Novičkovas, A., Duchovskis, P. (2013). LED irradiance level affects growth and nutritional quality of *Brassica microgreens*. *Central European Journal of Biology*, 8, 1241-1249.
- Silva, E. M. da; Costa, G. G. S. da; Andrade, A. F.; Ferreira, H. C. P.; Steiner, F. Produção de mudas de alface, pepino e pimentão em função da qualidade do espectro luminoso. *Scientia Agraria Paranaensis*, [S. l.], v. 15, n. 4, p. 446–452, 2016. DOI: 10.18188/sap.v15i4.13415. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/scientiaagraria/article/view/13415>. Acesso em: 15 maio. 2024.
- Viršilė, A., Brazaitytė, A., Vaštakaitė-Kairienė, V., Miliauskienė, J., Jankauskienė, J., Novičkovas, A., Samuolienė, G. (2019). Lighting intensity and photoperiod serves tailoring nitrate assimilation indices in red and green baby leaf lettuce. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(14), 6608-6619.
- Yeh, N., e Chung, J. P. (2009). High-brightness LEDs—Energy efficient lighting sources and their potential in *indoor* plant cultivation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(8), 2175-2180.

## CAPÍTULO 1

### **A enxertia em uma fazenda vertical *indoor* acelera a produção de mudas de pimentão sob um fotoperíodo curto quando comparada a uma estufa tradicional**

**Resumo** - A produção de mudas enxertadas de pimentão é essencial para a obtenção de plantas vigorosas e produtivas, sendo tradicionalmente realizada em estufas agrícolas de diferentes graus tecnológicos. O cultivo vertical *indoor* com iluminação artificial surge como alternativa por permitir maior controle ambiental, padronização e redução do ciclo de produção para produção de mudas. Entretanto, a definição do fotoperíodo adequado para o pegamento da enxertia é fundamental para assegurar a qualidade das mudas. A presente pesquisa foi dividida em duas etapas sendo que a primeira comparou a produção de mudas de pimentão (enxerto - Jaguariuna e porta-enxerto - Arcanjo) em estufa agrícola e cultivo vertical *indoor* e a segunda teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes tempos de exposição à luz (6, 9, 12 e 15 h) após a enxertia em mudas de pimentão produzidas em estufa agrícola e em cultivo *indoor*. Na primeira etapa o experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial  $2 \times 2$ , com 10 repetições. A avaliação das mudas foi realizada no ponto de enxertia, atingido quando as plantas tinham 4 folhas verdadeiras. Foram avaliadas a altura do hipocótilo (AH) (cm), número de folhas (NF) e diâmetro do caule (DC) (cm), massa fresca (MFPA) e seca (MSPA) da parte aérea e da raiz (MFR e MSR). Na segunda etapa o experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial  $2 \times 4$ , com 3 repetições. Foram avaliados diâmetro do hipocótilo, tempo de cicatrização, sobrevivência das plantas enxertadas, altura da planta, número de bifurcações e flores emitidas nas plantas avaliadas aos 61 DAS. Plantas de enxerto (Jaguariuna) e porta enxerto (Arcanjo) produzidas no cultivo *indoor*, pré-enxertia, apresentaram maior massa seca da parte aérea ( $2,2 \text{ g planta}^{-1}$ ) e raiz ( $0,07 \text{ g planta}^{-1}$ ) em relação as produzidas na estufa agrícola, com precocidade de 5 dias (20%). A sobrevivência das mudas enxertadas foi de 87% após a enxertia e 100% quando transplantadas. Mudas enxertadas produzidas no *indoor* e posteriormente transplantadas para o campo aberto apresentaram precocidade produtiva medida em número de bifurcações (11) e flores (20) aos 61 DAS.

**Palavras-chave:** pimentão, cultivo protegido, cultivo vertical *indoor*, mudas, enxertia, iluminação artificial

## **Grafting on an *indoor* vertical farm allows a faster bell pepper seedling production under a short-photoperiod when compared to a traditional greenhouse**

### **Abstract**

The production of grafted bell pepper (*Capsicum annuum* L.) seedlings is essential for obtaining vigorous and productive plants, traditionally carried out in agricultural greenhouses of varying technological levels. *Indoor* vertical farming with artificial lighting emerges as an alternative that allows for greater environmental control, standardization, and a reduction in the production cycle for seedlings. However, defining the appropriate photoperiod for grafting success is fundamental to ensuring seedling quality. This research was divided into two stages. The first compared the production of bell pepper seedlings (scion - Jaguariúna and rootstock - Arcanjo) in a greenhouse and *indoor* vertical farm, and the second aimed to evaluate the effect of different light exposure times (6, 9, 12, and 15 h) after grafting on bell pepper seedlings grown in a greenhouse and *indoor* farm. In the first stage, the experiment was conducted in a randomized block design, in a  $2 \times 2$  factorial scheme, with 10 replications. The evaluation of the seedlings was carried out at the grafting point, reached when the plants had 4 true leaves. Hypocotyl height and diameter (HH, HD), number of leaves (NL), stem diameter (SD), shoot and root fresh (SFW and RFW) and dry weight (SDW and RDW) were evaluated. In the second stage, the experiment was conducted in a randomized block design, in a  $2 \times 4$  factorial scheme, with 3 replications. Hypocotyl diameter (HD), cicatrization time, survival of grafted plants, plant height (PH), number of bifurcations and flowers emitted in plants evaluated at 61 DAS were assessed. Scion (Jaguariúna) and rootstock (Arcanjo) plants grown in the *indoor* vertical farm showed higher SDW (2.2 g plant<sup>-1</sup>) and RDW (0.07 g plant<sup>-1</sup>) compared to those grown in the greenhouse, with a precocity of 5 days (20%). The survival rate of grafted seedlings was 87% after grafting and 100% when transplanted. Grafted seedlings grown in an *indoor* farm and subsequently transplanted to the open field showed early productive maturity measured by the number of bifurcations (11) and flowers (20) at 61 DAS.

**Keywords:** bell peppers, protected cultivation, *indoor* vertical cultivation, seedlings, grafting, artificial lighting

## Introdução

O cultivo de pimentão (*Capsicum annuum* L.) possui grande relevância para a agricultura brasileira, destacando-se entre as principais hortaliças produzidas e comercializadas no país. A produção nacional concentra-se majoritariamente nas regiões Sudeste, Nordeste e Sul, responsáveis por cerca de 90% do volume produzido, evidenciando a importância econômica e social dessa cultura (IBGE, 2017).

A obtenção de alta produtividade (100 t ha<sup>-1</sup> - faixa média de 25 a 40 t ha<sup>-1</sup>) e qualidade na cultura inicia-se com a utilização de mudas de alta qualidade, podendo ser definidas pela precocidade, enraizamento, sanidade e rápida aclimação às condições pós-transplante. Nesse contexto, o ambiente de produção, o manejo nutricional e hídrico, além do controle fitossanitário, são determinantes para o adequado desenvolvimento das mudas antes do transplante (Jorge et al. 2016; Gallegos-Cedillo et al. 2024) observaram, por meio de uma análise global de pesquisas sobre mudas e transplantes de hortaliças, que a utilização de mudas com alta qualidade no viveiro, definidas por atributos morfológicos, vigor e sanidade, é importante para melhorar o desempenho das plantas após o transplante, reduzindo o tempo até à colheita e aumentando a eficiência produtiva.

Atualmente, a produção de mudas de pimentão é majoritariamente realizada por viveiros especializados, especialmente quanto à crescente predominância da enxertia que exige elevado grau técnico e mão-de-obra qualificada.

A enxertia é a operação que resulta na união de duas plantas, em que o enxerto, parte superior, que produzirá a parte aérea e os frutos, é inserido sobre o porta-enxerto, parte inferior, caracterizada pelo sistema radicular, estabelecendo uma conexão entre os tecidos vasculares das duas plantas. Estudos recentes têm demonstrado que a utilização de porta-enxertos resistentes pode reduzir significativamente a incidência de doenças de solo, como murcha bacteriana e nematoides, além de aumentar a produtividade e vigor das plantas de pimentão enxertado quando comparado às plantas não enxertadas (Goto et al., 2003, Naik, Sanmathi A. T. S. et al.; 2024). Como a produção de mudas enxertadas exige maior nível tecnológico e eleva os custos de produção, há um estímulo na busca por sistemas mais eficientes e sustentáveis, incluindo métodos e inovações que tornam a enxertia mais acessível e economicamente viável para viveiros e até mesmo produtores.

Nesse cenário, sistemas como o cultivo vertical *indoor* com iluminação artificial surgem como tecnologia promissora para otimizar a produção de mudas. Através do cultivo em ambiente fechado onde a iluminação, temperatura e umidade podem ser

controlados de acordo com as necessidades das plantas, pode-se obter um maior pegamento, aceleração do ciclo e produtividade em camadas verticais (Bian et al., 2018; Kozai & Niu, 2020; Kim et al., 2021). Esses sistemas permitem também a produção precoce e uniforme em relação a sistemas tradicionais com estufas agrícolas, que embora protejam parcialmente as culturas das intempéries, ainda sofrem o efeito de temperaturas extremas e dias nublados e/ou com fotoperíodo reduzido.

Sobretudo ao considerar essas limitações, intensificadas pelas mudanças climáticas (Purquerio et al., 2024), o sistema vertical *indoor* pode ser uma alternativa interessante para a produção de mudas enxertadas de pimentão. Entretanto, ainda existem lacunas quanto à comparação entre sistemas verticais *indoor* e estufa agrícola na produção de enxertos e porta-enxertos, bem como quanto ao manejo da iluminação durante a delicada fase de pegamento e a aclimação pós-transplante em condições de campo aberto.

Postula-se que haja interação entre o sistema de produção (protegido ou *indoor*) e os intervalos de luz, a rapidez de produção e qualidade de mudas de pimentão enxertado tropicalizado. Dessa forma, os objetivos deste trabalho foram: a) comparar a produção de mudas de pimentão (enxerto e porta-enxerto) em sistema vertical *indoor* e estufa agrícola; b) verificar se a qualidade e performance inicial pós-transplante de mudas enxertadas de pimentão é promovida sob crescentes fotoperíodos (i.e. intervalos de luz) em sistema vertical *indoor* em relação à produção em estufa agrícola

## **Material e Métodos**

A presente pesquisa foi dividida em duas etapas sendo que a primeira comparou a produção de mudas de pimentão (enxerto e porta-enxerto) em estufa agrícola e cultivo vertical *indoor* e a segunda avaliou o efeito de diferentes tempos de exposição à luz (6, 9, 12 e 15 h) após a enxertia em mudas de pimentão produzidas em estufa agrícola e em cultivo *indoor*, bem como, pós-transplante, avaliou o pegamento, crescimento e emissão de flores até os 61 dias após a semeadura (DAS).

## Produção de mudas pré-enxertia (enxerto e porta-enxerto)

O experimento foi conduzido em dois sistemas: estantes de cultivo vertical *indoor* e cultivo protegido em estufa agrícola. O primeiro foi instalado no Laboratório de Cultivo *Indoor* do Centro de Horticultura do Instituto Agrônômico (IAC) em Campinas, SP (22°54'20" Sul e 47°05'34" Oeste, altitude 674 m). A sala (5,0 x 4,0 m, pé direito de 3,0 m) foi construída em alvenaria, sem incidência de luz natural e climatizada com condicionador de ar de 24.000 BTU, mantida a 25 °C. As estantes de cultivo eram de aço (0,6 x 0,9 m e 2,6 m de altura), com distância entre os andares de 0,3 m. Foram instaladas cortinas de policloreto de vinila (PVC) branco fosco na parte interna das estantes, fechando três lados da câmara de cultivo para minimizar a perda de luz e umidade para fora dos andares e evitar interferência entre os tratamentos. As luminárias LED utilizadas foram do modelo GLW\_v.17.2.2/22 (tubular, 60 cm de comprimento) (LEDsUP, Botucatu-SP), instaladas em cada andar das estantes de modo que a intensidade luminosa (ou densidade de fluxo de fótons fotossintéticos, DFFF) incidente foi de 320  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . O fotoperíodo definido para essa etapa foi de 16 h com o espectro de luz branca (Silva et al., 2022) com a mesma solução nutritiva para produção do porta enxerto e da copa.

O cultivo em estufa agrícola foi realizado no Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (CP) da empresa Feltrin Sementes (Feltrin), em Jaguariúna, SP (22°40'39" Sul e 47°03'43" Oeste, altitude 546 m). As mudas foram cultivadas dentro de estufa agrícola do tipo arco, com dimensões 7,0 x 30,0 m (210 m<sup>2</sup>). A estrutura foi montada em aço galvanizado, coberta com filme plástico de polietileno de baixa densidade (PEBD), de 120  $\mu\text{m}$ . Lateralmente foi fechada com tela antiafídeo e o piso da estrutura foi feito em concreto industrial. Dentro da estrutura existiam bancadas montadas com arame e tela de sombreamento para apoiar as bandejas de mudas, dispostas horizontalmente. Não houve controle ambiental na estufa agrícola e a iluminação foi natural.

Para a primeira etapa o experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 2 genótipos (Arcanjo - enxerto e Jaguariúna – porta enxerto)  $\times$  2 ambientes de cultivo (estufa agrícola e *indoor*), com dez repetições, sendo dez plantas selecionadas das 4 bandejas de 128 células que foram semeados.

A avaliação das mudas foi realizada no ponto de enxertia, atingido quando a muda estava com dois pares de folhas verdadeiras expandidas e o diâmetro do hipocótilo do enxerto e porta-enxerto foi maior ou igual a 2,5 mm. Foram avaliadas a altura do

hipocótilo (AH), número de folhas (NF), diâmetro do caule (DC), massa fresca (MFPA) e seca (MSPA) da parte aérea e da raiz (MFR e MSR).

### **Produção de mudas enxertadas e aclimação inicial em campo**

A enxertia das mudas produzidas na etapa anterior foi conduzida por meio do método de encostia, sendo realizados cortes em bisel no hipocótilo tanto no porta-enxerto (Arcanjo - Feltrin) quanto no enxerto (Jaguariuna – Feltrin) com o objetivo de promover o correto contato e alinhamento dos feixes vasculares. Após a execução dos cortes, as partes foram posicionadas em contato direto e fixadas com grampos de silicone, assegurando a estabilidade da união e o adequado contato entre tecidos. As mudas enxertadas foram então submetidas à fase de aclimação, sendo mantidas nas condições ambientais em que as mudas do sistema *indoor* foram produzidas anteriormente, alterando a umidade relativa do ar de 60 para 80% de modo a favorecer a formação do calo cicatricial e estabelecimento da conexão vascular entre o porta-enxerto e enxerto, resultando na formação de plantas integradas. Para o aumento da umidade relativa do ar foram colocadas bandeja com água em cada andar ao lado das mudas de pimentão enxertadas.

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 4 fotoperíodos (6, 9, 12 e 15 h) x 2 ambientes de cultivo (estufa agrícola e *indoor*), com três repetições.

Os tratamentos dessa etapa foram diferentes fotoperíodos (6, 9, 12 e 15 h) após a enxertia em mudas de pimentão produzidas em estufa agrícola e em cultivo *indoor*. Na mesma estante foram instaladas luminárias LED modelo VOKSE 30-GLFDV117121 (tubular, 30 cm de comprimento) (LEDsUP, Botucatu-SP), instaladas em linhas de 60 cm (duas luminárias de 30 cm) em cada andar das estantes de modo que a intensidade luminosa (ou densidade de fluxo de fótons fotossintéticos, DFFF) incidente foi de 200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . O fotoperíodo definido para essa etapa foi de 16 h (Silva et al., 2022), os espectros foram divididos entre rosas e brancas na proporção de 50% cada e com a mesma solução nutritiva para produção do porta enxerto e da copa.

A solução nutritiva conteve os seguintes teores ( $\text{mmol L}^{-1}$ ): N-NO<sub>3</sub>: 3,04; N-NH<sub>4</sub>: 1,12; P: 0,96; K: 3,68; Ca: 2,88; Mg: 1,28; S: 1,28; B: 0,222; Cu: 0,025; Fe: 0,286; Mn:

0,058; Mo: 0,004 e Zn: 0,007. Foram utilizados os fertilizantes nitrato de cálcio (15,5 % N; 19% Ca), nitrato de potássio (12 % N; 43 % K), mono-amônio fosfato (12 % N; 61% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), sulfato de magnésio (1 % K; 9 % Mg; 12 % S) e micronutrientes (ConMicros® Standard, 1,82 % B; 1,82 % Cu; 7,26 % Fe; 1,82 % Mn; 0,36 % Mo; 0,335 % Ni; 0,73 % Zn %). A CE resultante é de aproximadamente 1,4 mS cm<sup>-1</sup> quando os fertilizantes são diluídos em água com CE basal de 0,3 mS cm<sup>-1</sup>. Essa solução foi originalmente proposta por Furlani et al. (1999), com adaptações de Calori et al. 2014.

Aplicou-se a solução nutritiva em alternância diária com água. Ambas, foram colocadas manualmente em bandejas plásticas (piscinas) localizadas sob as bandejas de mudas, caracterizando sub-irrigação por capilaridade. Ao todo foram consumidos cerca de 8,8 litros de solução para o desenvolvimento das mudas.

No campo, os canteiros foram preparados com o auxílio de trator acoplado a encanteiradora de 1,10 m de largura. Posteriormente, foram cobertos com filme de polietileno branco (mulching) e instaladas duas fitas de gotejamento por canteiro. A fertirrigação foi realizada diariamente por meio da injeção de solução nutritiva composta por 40 kg de nitrato de cálcio, 25 kg de sulfato de magnésio, 20 kg de mono-amônio fosfato e 3 kg de Brexil Top (10,0; 6,0; 5,0; 2,0; 1,5 e 0,5% de enxofre, zinco, manganês, boro, magnésio e molibdênio, respectivamente), diluídos em 1.000 L de água. O fornecimento da solução foi fracionado em quatro aplicações diárias, com pulsos de 7 minutos cada, utilizando emissores com vazão nominal de 3,5 L h<sup>-1</sup>.

As plantas foram transplantadas formando parcelas de 16 plantas cada tratamento, o espaçamento foi de 0,5m entre planta e 0,7m entre linhas com 2 linhas de plantio, totalizando uma área útil de 2,8m<sup>2</sup> para cada parcela.

A análise química do solo revelou os seguintes resultados: M.O = 11 g dm<sup>-3</sup>; pH = 6,7; P = 56 mg dm<sup>-3</sup>; K = 3,3 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Ca = 48 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg 7 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; H+Al = 11 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; CTC = 69,8 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; SB = 58,4 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; V = 84%; S = 9 mg dm<sup>-3</sup>; B = 0,31 mg dm<sup>-3</sup>; Cu = 9,1 mg dm<sup>-3</sup>; Fe = 13 mg dm<sup>-3</sup>; Mn = 3,3 mg dm<sup>-3</sup> e Zn = 1,8 mg dm<sup>-3</sup>.

Foram avaliados diâmetro do hipocótilo, sendo o ideal acima de 5 mm, e tempo de cicatrização (dias), que representa o tempo da enxertia até o ponto de transplante onde a muda está com o processo de união completa e com o calo adequadamente formado, sobrevivência das plantas enxertadas, altura da planta, número de bifurcações e flores emitidas nas plantas avaliadas aos 61 DAS (07/01/2025).

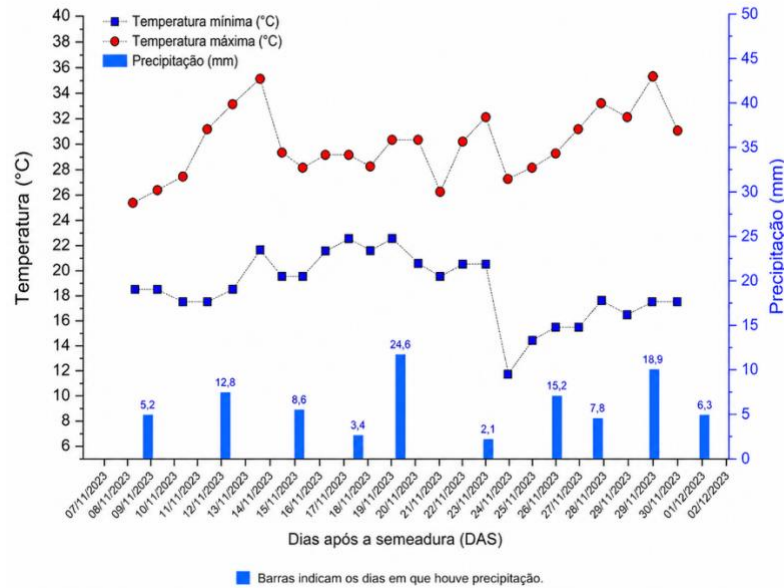
## **Análise estatística**

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) por meio do teste F. Para a produção de mudas antes da enxertia, foi realizado o teste de Tukey (5%) para comparação das médias entre ambientes e cultivares. Para as mudas após a enxertia, bem como para a validação a campo e os diferentes fotoperíodos, foi aplicada análise de regressão; para o fator ambientes, foi realizado o teste de Tukey (5%) para comparação das médias. As análises foram realizadas utilizando o software SISVAR 5.6.

## **Resultados e Discussão**

### **Condições microclimáticas na estufa agrícola e no Laboratório de Cultivo *Indoor* e ciclo produtivo**

A temperatura é um fator ambiental que influencia o desempenho fisiológico e produtivo do pimentão (*Capsicum annuum* L.). A faixa considerada ideal para o desenvolvimento da cultura situa-se entre 20 °C e 30 °C, com temperaturas diurnas próximas de 21–27 °C e noturnas entre 16–18 °C. Valores abaixo de 15 °C ou acima de 30 °C podem limitar o crescimento, a floração e a frutificação, sendo que temperaturas superiores a 35 °C estão associadas a abortamento floral e redução do pegamento de frutos (Filgueira, 2013). Na estufa agrícola, durante o período experimental foram observadas médias de temperatura máxima do ar igual a 29,0 °C e mínima 18,0 °C (Figura 1), dentro do valor citado como ideal. Também foram registrados picos de temperatura acima de 35 °C, caracterizando condição de estresse térmico, porém em poucos dias o que não prejudicou o desenvolvimento das plantas. Durante os dias do experimento o comprimento médio do dia foi de 12,5 horas de luz.



**Figura 1.** Temperaturas máxima e mínima ao longo do período experimental, de 07/11 a 02/12/2024 em estufa agrícola. Feltrin, Jaguariúna, SP, 2024.

Para a etapa de produção de mudas, no Laboratório de Cultivo *Indoor*, o período experimental foi de 07 a 27 de novembro de 2024 (20 DAS), sendo que a temperatura foi mantida constante a 25 °C, oscilando eventualmente de 24 a 27°C por meio de um sistema de ar-condicionado. Próximo ao dossel das plantas essa temperatura chegou a 27 °C, por causa da dissipação de calor do LED, também de forma constante nos andares da estante de produção. A umidade do ar variou de 55 a 65 % ao longo do período de produção do enxerto e porta enxerto.

O fluxograma das etapas de pré e pós enxertia para mudas de pimentão provenientes da estufa agrícola e do *indoor*. A semeadura das mudas para ambos os sistemas foi realizada em 07/11/2024 e a enxertia em 27/11/2024 para mudas produzidas na vertical *indoor* e 02/12/2024 para as produzidas na estufa agrícola. Houve um período de pegamento do enxerto de 9 dias, no qual as plantas ficaram submetidas a 6, 9, 12 e 15 horas de luz (tratamentos). Após o período da enxertia, o transplante das mudas para o campo aberto ocorreu em 06 e 10/12/2024 para mudas produzidas na vertical *indoor* e na estufa agrícola, respectivamente. Portanto, as mudas apresentaram tempo total de produção de 29 (vertical *indoor*) e 34 dias (estufa agrícola) em comparação aos 36-46 dias utilizados pelo viveiristas convencional de mudas enxertadas, dependendo das condições ambientais de diferentes épocas do ano, representando 15% de aceleração em

relação a estufa agrícola apenas com o pegamento no *indoor* e 20-37% se comparado com a faixa do viveirista convencional.

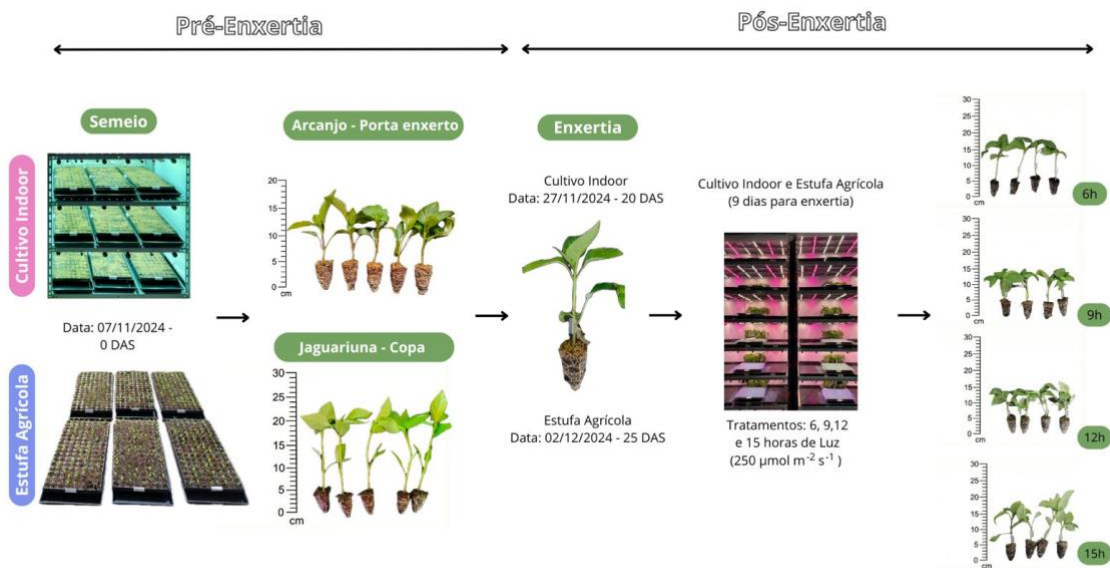


Figura 2 – Fluxograma das etapas de pré e pós enxertia para mudas de pimentão provenientes da estufa agrícola e do vertical *indoor*.

### Produção do enxerto e porta-enxerto pré-enxertia

A Tabela 1 mostra os resultados para altura do hipocótilo (AH), diâmetro do caule (DC), massa fresca (MFPA e MFR) e seca (MSPA e MSR) da parte aérea e das raízes das mudas de pimentão pré-enxertia produzidas em sistema vertical *indoor* e estufa agrícola.

Todas as plantas de enxerto estavam com 4 folhas verdadeiras no momento da enxertia, atingido aos 20 DAS no *indoor* e 26 DAS na estufa agrícola.

O ambiente de cultivo influenciou significativamente o crescimento das mudas de pimentão na etapa de pré-enxertia, onde uma aceleração de 20 % (5 dias) foi obtida no sistema vertical *indoor* em detrimento da estufa agrícola. O potencial de sistemas verticais *indoor* para a aceleração de ciclos produtivos é um conceito estabelecido na literatura, onde a razão para a precocidade no acúmulo de biomassa está relacionada à maior estabilidade ambiental e manejo de luz (Asseng et al., 2020; Sowmya et al., 2024; Pennisi et al., 2025). O fotoperíodo de 16h utilizado nessa etapa, por exemplo, pode ter permitido a atividade fotossintética por mais tempo em condições térmicas e luminosas constantes

não presentes na estufa agrícola, sujeita a iluminação natural e comprimento médio do dia de 12,5 horas.

**Tabela 1.** Altura do hipocótilo (AH) e diâmetro do caule (DC), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca das raízes (MFR) e massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca das raízes (MSR) de mudas de pimentão pré-enxertia produzidas na vertical *indoor* e estufa agrícola.

Tratamentos	AH	DC	MFPA	MSPA	MFR	MSR
	cm	mm	----- g planta <sup>-1</sup> -----			
Vertical <i>indoor</i>	2,2 b <sup>1</sup>	2,7 a	1,7 b	0,21 a	0,77 a	0,07 a
Estufa agrícola	4,0 a	2,7 a	2,2 a	0,17 b	0,78 a	0,04 b
DMS	0,19	0,12	0,20	0,03	0,12	0,011
CV%	9,69	6,79	16,38	26,65	25,6	30,84

<sup>1</sup>Letras diferentes, minúsculas na linha, são indicativas de diferença significativa a 5% entre as médias dos tratamentos, pelo teste de Tukey 5%.

A altura do hipocótilo (AH), apresentou valor maior nas mudas produzidas em estufa agrícola (4,0 cm) em comparação aos 2,2 cm do *indoor* (Tabela1), o que pode apontar uma resposta morfofisiológica das plantas às condições de cultivo com menor controle ambiental. A oscilação da temperatura na estufa agrícola pode induzir processos de termo morfogênese, caracterizados pelo alongamento do hipocótilo e alterações no padrão de crescimento (Franklin & Wigge, 2008; Quint et al., 2016). Além disso, variações na irradiância ou na decorrência de dias nublados podem ativar mecanismos de evasão ao sombreamento, promovendo maior alongação do eixo caulinar (Casal, 2012; De Wit et al., 2016). A ausência dessas oscilações no sistema vertical *indoor* pode, assim, ter contribuído para a formação de mudas com menor alongamento de hipocótilo.

Apesar de o sistema vertical *indoor* ter resultado em mudas com menor AH e MFPA, não houve diferença significativa entre o diâmetro de caule (DC) das mudas produzidas em ambos os sistemas com média de 2,7 mm. A produção de mudas mais compactas pode ser considerada vantajosa para a enxertia, uma vez que hipocótilos excessivamente alongados tendem a apresentar menor espessura e maior suscetibilidade a danos mecânicos, que comprometem a integridade do enxerto e estabelecimento pós-transplante, bem como posterior tombamento no campo após o transplante das mudas.

Ainda para AH, houve diferença significativa para os materiais genéticos, onde o Arcanjo apresentou 2,5 mm e o Jaguariuna 3,0 mm (Tabela 2). O ideal para a enxertia é que os materiais apresentem a diâmetros similares para a melhor união dos feixes vasculares, porém a diferença observada não interferiu no processo de enxertia. Para futuros cultivos o Arcanjo deverá ser semeado de um a dois dias antes para acelerar seu crescimento e conseqüentemente reduzir essa diferença.

**Tabela 2.** Altura do hipocótilo (AH) e diâmetro do caule (DC), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca das raízes (MFR) e massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca das raízes (MSR) de mudas de pimentão de Arcanjo e Jaguariuna pré-enxertia produzidas na vertical *indoor* e estufa agrícola.

Tratamentos	AH	DC	MFPA	MSPA	MFR	MSR
	cm	mm	----- g planta <sup>-1</sup> -----			
Arcanjo	3,1 a <sup>1</sup>	2,5 b	1,6 b	0,15 b	0,67 b	0,05 b
Jaguariuna	3,1 a	3,0 a	2,6 a	0,23 a	0,87 a	0,06 a
DMS	0,19	0,12	0,20	0,033	0,13	0,11
CV%	9,69	6,79	16,38	26,65	25,63	30,84

<sup>1</sup>Letras diferentes, minúsculas na linha, são indicativas de diferença significativa a 5% entre as médias dos tratamentos, pelo teste de Tukey 5%.

A massa fresca da parte aérea (MFPA) das mudas foi 22,7% maior na estufa agrícola (2,2 g planta<sup>-1</sup>) quando comparando ao sistema vertical *indoor* (1,7 g planta<sup>-1</sup>). Quanto às raízes não houve diferença com média de 0,7 g planta<sup>-1</sup>. A maior MFPA na estufa agrícola pode estar associada como estratégia adaptativa as condições mais estressantes (Smith & De Smet, 2012), em relação a estabilidade observada no *indoor*, o que ocasionou a aceleração no ciclo produtivo citada anteriormente de 23% no sistema *indoor*. Já no sistema *indoor* a massa seca da parte aérea (MSPA) e das raízes (MSR) das mudas mostrou-se 29 e 43% superior que na estufa agrícola, indicando uma muda produzida com menor tempo e mais robusta para o transplântio (Tabela 2).

Esse resultado indica que, embora as mudas produzidas em estufa agrícola tenham apresentado maior biomassa total, tal incremento esteve associado ao maior conteúdo hídrico nos tecidos, e não ao acúmulo de matéria seca. A totalidade de elementos estruturais e funcionais que compõem a matéria seca pode ser interpretada como um indicador de qualidade da muda, onde maiores valores representam um maior *pool* de

recursos disponíveis para a aclimação e desenvolvimento pós-transplante (Grossnickle, 2012). Com relação aos materiais genéticos Jaguariuna apresentou maiores valores para MFPA (2,6 g planta<sup>-1</sup>), MSPA, (0,23 g planta<sup>-1</sup>), MFR (0,87 g planta<sup>-1</sup>) e MSR (0,06 g planta<sup>-1</sup>) que os 1,6; 0,15; 0,67 e 0,05 g planta<sup>-1</sup> verificados, respectivamente, para o Arcanjo (Tabela 2), indicando que Jaguariuna foi mais precoce.

### **Enxertia e aclimação a campo das mudas enxertadas**

Verificou a ausência de significância para o número de horas de luz para as características sobrevivência das plantas pós enxertia, altura da planta, número de bifurcações e flores emitidas nas plantas avaliadas aos 61 DAS (07/01/2025), indicando a possibilidade de uso de apenas 6 horas de luz. Foram observadas médias de 13 plantas estabelecidas no campo de 15 mudas enxertadas transplantadas (87% de sobrevivência), 34,8 cm de altura, 8 bifurcações e 13 flores emitidas.

Houve diferença entre o ambiente em que as plantas pré-enxertia foram produzidas (*indoor* e estufa agrícola) na altura da planta, número de bifurcações e flores emitidas (Tabela 3). O número de plantas sobreviventes não diferiu significativamente entre os sistemas de cultivo com média de 13 plantas (87%) das 15 avaliadas.

A altura da planta (40,0 cm), o número de bifurcações onde flores podem aparecer (11) e de flores (20) foram maiores nas plantas provenientes do cultivo vertical *indoor* em relação aos 29,3; 5,0 e 7,0 da estufa agrícola, indicando precocidade produtiva das plantas provenientes do sistema *indoor*, com transplante precoce 29 DAS em relação aos 34 DAS das plantas produzidas em estufa agrícola.

O resultado de precocidade de produção das plantas no vertical *indoor* bem como na estufa agrícola em comparação aos 36-46 dias necessários a produção no viveirista convencional indicam a possibilidade de uso do sistema vertical *indoor* em todas as etapas da produção das mudas enxertadas ou apenas no pegamento do enxerto com produção das mudas pré enxertia em estufa agrícola. Essa estratégia pode representar alternativa economicamente viável, considerando que a etapa pós-enxertia constitui o período de maior sensibilidade das mudas, exigindo condições ambientais estáveis para adequada formação do calo e reconexão dos tecidos vasculares (Mudge et al., 2009; Lee et al., 2010).

Se considerarmos 40 dias para a produção de muda de pimentão enxertada pelo viveirista convencional tivemos 28 e 15% de aceleração, respectivamente, no vertical *indoor* e na estufa agrícola com etapa no *indoor*.

Resultados de antecipação do ciclo no cultivo *indoor* são comuns na literatura para microverdes, baby leaf (Bantis, 2021; Pescarini, et. al, 2023; Manjavachi, 2025; Ceclio Filho et al. 2026) porém para mudas encontrado em menor quantidade, sendo descrito para mudas alface redução de 30-40% no ciclo produtivo (Purquerio et al., 2024, Souza, 2025).

Ressalta-se ainda que não houve perda de mudas enxertadas oriundas do vertical *indoor* e estufa agrícola em avaliação feita aos 61 DAS, indicando que elas suportaram bem o processo de saída de um ambiente menos estressante (vertical *indoor*) para um mais estressante (campo aberto).

**Tabela 3.** Número de plantas sobreviventes pós enxertia (NP - 15 plantas total), altura da planta (AP), número de bifurcações (NB) e número de flores (FLOR) emitidas nas plantas avaliadas aos 61 DAS (07/01/2025) produzidas na vertical *indoor* e estufa agrícola.

Tratamentos	NP	AP	NB	FLOR
	---	cm	---	---
Vertical <i>indoor</i>	13 a <sup>1</sup>	40,0 a	11 a	20,0 a
Estufa agrícola	13 a	29,3 b	5,0 b	7,0 b
DMS	1,21	2,53	0,72	2,12
CV%	31,9	8,37	10,94	17,94

<sup>1</sup>Letras diferentes, minúsculas na linha, são indicativas de diferença significativa a 5% entre as médias dos tratamentos, pelo teste de Tukey 5%.

De maneira geral, os resultados demonstram que o sistema vertical *indoor* proporcionou ganhos agronômicos no campo, decorrentes da redução do tempo de produção da muda, da antecipação das etapas operacionais e da uniformidade das plantas no momento do transplante. Esses fatores resultam em maior crescimento inicial, maior ramificação da planta e antecipação da floração no campo.

## Consideração geral

A presente pesquisa demonstrou que o manejo da iluminação, associado ao sistema de produção das mudas, exerce influência direta sobre a velocidade de formação e desempenho inicial de mudas enxertadas de pimentão. A comparação entre o sistema vertical *indoor* com iluminação artificial LED e a estufa agrícola evidenciou que o ambiente controlado proporcionou maior estabilidade microclimática, refletindo em aceleração do ciclo produtivo e maior acúmulo de matéria seca ainda na fase pré-enxertia.

Na etapa inicial, a produção das mudas de enxerto e porta-enxerto em sistema vertical *indoor* resultou em antecipação de cinco dias (20%) no ponto ideal de enxertia quando comparada à estufa agrícola. Embora as mudas da estufa agrícola tenham apresentado maior altura de hipocótilo e massa fresca da parte aérea, o sistema *indoor* promoveu maior massa seca da parte aérea e das raízes, indicando formação de mudas mais compactas, mais robustas. Esse padrão sugere que o ambiente controlado favoreceu maior eficiência no uso da radiação e melhor balanço entre crescimento vegetativo e qualidade fisiológica.

Na fase pós-enxertia, não foi observada interação significativa entre os sistemas de produção e os diferentes tempos de exposição à luz (6, 9, 12 e 15 h), tampouco efeito isolado do fotoperíodo sobre sobrevivência, crescimento ou emissão floral até os 61 DAS. Esses resultados indicam que a exposição mínima de seis horas de luz foi suficiente para garantir adequado pegamento da enxertia, demonstrando que o aumento do fotoperíodo nessa fase não promoveu ganhos adicionais nas condições avaliadas.

Plantas de mudas provenientes do sistema vertical *indoor* apresentaram maior altura, maior número de bifurcações e maior emissão de flores aos 61 DAS, evidenciando precocidade produtiva em comparação às plantas oriundas da estufa agrícola. Tal resposta indica que a precocidade na formação das mudas trouxe respostas rápidas no campo (após o transplante).

A sobrevivência das mudas enxertadas foi satisfatória em ambos os sistemas, com 87% de pegamento pós-enxertia e 100% após o transplante, demonstrando que as mudas produzidas em ambiente *indoor* não apresentaram limitações quanto à aclimação ao campo aberto. Esse resultado reforça a viabilidade técnica do uso do cultivo vertical *indoor* na produção de mudas enxertadas de pimentão.

De maneira geral, os resultados obtidos indicam que o sistema vertical *indoor* pode ser adotado em todas as etapas da produção de mudas enxertadas ou,

alternativamente, utilizado apenas na fase crítica de pegamento do enxerto, como forma de otimizar o uso da infraestrutura e reduzir custos operacionais. A redução do ciclo total de produção pode representar vantagem competitiva significativa para viveiristas e produtores.

Diante dos achados, conclui-se que o cultivo vertical *indoor* com iluminação artificial LED constitui ferramenta promissora para aumentar a eficiência produtiva, reduzir o tempo de formação das mudas enxertadas e promover precocidade no estabelecimento da cultura, configurando-se como alternativa tecnológica relevante no contexto das mudanças climáticas e da necessidade de sistemas produtivos mais previsíveis e sustentáveis.

## **Conclusão**

O cultivo vertical *indoor* aumenta a eficiência na produção de mudas enxertadas de pimentão, reduzindo o ciclo em 20% e favorecendo o desempenho inicial das plantas. O fotoperíodo não influenciou o pegamento da enxertia, sendo 6 horas de luz suficientes para garantir adequada cicatrização. Assim, o uso de ambiente controlado associado à redução do tempo de iluminação configura estratégia viável para otimizar a produção e reduzir custos.

## **Agradecimentos**

A Feltrin Sementes LTDA pelas sementes e insumos fornecidos para desenvolver o projeto além da estrutura da sua estação experimental em Jaguariuna, SP. Ao Laboratório de Cultivo *Indoor* do Instituto Agrônômico pela estrutura.

## Referências bibliográficas

- Asseng, S.; Guarin, J.R.; Raman, M.; et al. Wheat yield potential in controlled-environment vertical farms. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 117, p. 19131–19135, 2020.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.2002655117>.
- Bantis, F. Light spectrum differentially affects the yield and phytochemical content of microgreen vegetables in a plant factory. *Plants* 10:2182, 2021.
- Bian, Z.; Cheng, R.; Yang, Q.; Wang, J. Continuous light from red, blue, and green light-emitting diodes reduces nitrate content and enhances phytochemical concentrations in lettuce. *HortScience*, v. 53, p. 1-7, 2018. Kozai, T., Niu, G. Role of the plant factory with artificial lighting (PFAL) in urban áreas. In: *Plant Factory*. 2. Ed. Academic Press, 2020, 7 - 34.
- Calori, A. H. et al. Condutividade elétrica da solução nutritiva e espaçamento entre plantas na produção de beterraba e alface. *Horticultura Brasileira* 32:426-433, 2014.
- Casal, J.J. Shade avoidance. *The Arabidopsis Book*, v. 10, e0157, 2012.  
<https://doi.org/10.1199/tab.0157>.
- Cecilio Filho, Arthur Bernardes et al. Red light in addition to white light improve commercial characteristics and yield of purple cabbage microgreens. *Chil. j. agric. Res* 86:86-91, 2026.
- De Wit, M.; Galvão, V.C.; Fankhauser, C. Light-mediated hormonal regulation of plant growth and development. *Annual Review of Plant Biology*, v. 67, p. 513–537, 2016.  
<https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-043015-112252>.
- Filgueira, Fernando Antônio Reis. *Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças*. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2013.
- Franklin, K.A.; Wigge, P.A. Temperature perception and signalling in plants. *New Phytologist*, v. 179, p. 615–628, 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02478.x>.
- Furlani, P. R., Silveira, L. C. P., Bolonhezi, D., Faquin, V. (1999). *Cultivo hidropônico de plantas* (Vol. 180). Campinas: Instituto Agrônômico.

Gallegos-Cedillo, V. M.; Nájera, C.; Signore, A.; Ochoa, J.; Gallegos, J.; Egea-Gilabert, C.; Gruda, N. S.; Fernández, J. A. Analysis of global research on vegetable seedlings and transplants and their impacts on product quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Oxford, v. 104, n. 9, p. 4950-4965, 2024.

<https://doi.org/10.1002/jsfa.13309>

Gonzalez, J. El injerto en hortalizas. In: Vilarnau, A.; Gonzalez, J. *Planteles: semilleros, viveros*. Reus : Ediciones de Horticultura, 1999. Cap.9, p.121-128.

Goto, Romy; SANTOS, Haydée Siqueira; CANIZARES, Kathia Alexandra Lara (Org.). *Enxertia em hortaliças*. São Paulo: UNESP, 2003.

Grossnickle, S.C. Why seedlings survive: importance of plant attributes. *New Forests*, v. 43, p. 711–738, 2012. <https://doi.org/10.1007/s11056-012-9336-6>.

IBGE/SIDRA. Levantamento sistemático da produção agrícola. 2017. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/pimentao/br>> Acesso em 12 Maio. 2024

Jorge, L. A. C.; Silva, T. T. R.; Carvalho, M. G. (2016) Produção de mudas e impacto dos sistemas de produção: uma revisão. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*. Manjavachi, M. K. D. P., Silva, T. A., Guimarães, C. C., Sartori, M. M. P., Silva, E. A. A. D. (2022). Physiological and biochemical responses of osmo-primed parsley seeds subjected to saline stress. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 44, e54364.

Kim, J. K., Kang, H. M., Na, J. K., Choi, K. Y. (2019). Changes in growth characteristics and functional components of *Lactuca indica* L. ‘Sunhyang’ baby leaf vegetable by light Intensity and cultivation period. *Horticultural Science and Technology*, 37(5), 579-588.

Lee, J.M.; Kubota, C.; Tsao, S.J.; Bie, Z.; Eo, J.; Morra, L.; Oda, M. Current status of vegetable grafting: Diffusion, grafting techniques, automation. *Scientia Horticulturae*, v. 127, p. 93-105, 2010.

Mudge, K.; JANICK, J.; SCOFIELD, S.; GOLDSCHMIDT, E. E. A history of grafting. *Horticultural Reviews*, Hoboken, v. 35, p. 437–493, 2009.

Naik, Sanmathi A. T. S. et al. Grafting Bell Pepper onto Local Genotypes of Capsicum spp. as Rootstocks to Alleviate Bacterial Wilt and Root-Knot Nematodes under Protected Cultivation. *Agronomy*, v. 14, n. 3, p. 470, 2024. DOI: 10.3390/agronomy14030470.

Pennisi, G.; Gianquinto, G.; Marcelis, L.F.M.; Martin, M.; Orsini, F. Vertical farming: productivity, environmental impact, and resource use. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 45, article 57, 2025. <https://doi.org/10.1007/s13593-025-01055-w>.

Pescarini, H.B.; Silva, V.G.d.; Mello, S.d.C.; Purquerio, L.F.V.; Sala, F.C.; Zorzeto Cesar, T.Q. Updates on Microgreens Grown under Artificial Lighting: Scientific Advances in the Last Two Decades. *Horticulturae* 9:864, 2023.

Purquerio, L. F. V., Calori, A. H., Moraes, L. A. S., Factor, T. L., Tivelli, S. W. (2016). Produção de baby leaf em bandejas utilizadas para produção de mudas e em hidroponia NFT. *Produção de Mudas de Hortaliças*, Embrapa.

Purquerio, L. F. V.; Manjavachi, M. K. P.; Mattos, E. C.; BLAIN, G. C.; CESAR, T. Q. Z.; SALA, F.C. Potencial do cultivo vertical *indoor* com iluminação artificial no contexto das mudanças climáticas. *Informe Agropecuário* 45:17-29, 2024.

Quint, M. et al. Molecular and genetic control of plant thermomorphogenesis. *Nature Plants*, v. 2, 15190, 2016. <https://doi.org/10.1038/nplants.2015.190>.

Silva, L. M., Cruz, L. P., Pacheco, V. S., Machado, E. C., Purquerio, L. F. V., Ribeiro, R. V. (2022). Energetic efficiency of biomass production is affected by photoperiod in *indoor* lettuce cultivation. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 34(2), 265-276.

Smith, S.; DE SMET, I. Root system architecture: insights from Arabidopsis and cereal crops. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, v. 367, p. 1441–1452, 2012. <https://doi.org/10.1098/rstb.2011.0234>.

Souza, Luís Gustavo de. Produção de mudas de alface em sistemas *indoor* e convencional. 2025. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2025.

Sowmya, C.; et al. Recent developments and inventive approaches in vertical farming systems. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2024.  
<https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1400787>

## ANEXOS

**Tabela 4.** A Tabela 4 mostra os resultados da análise de variância para altura do hipocótilo (AH) e diâmetro do caule (DC), massa fresca (MFPA e MFR) e seca (MSPA e MSR) da parte aérea e das raízes de mudas de pimentão de Arcanjo e Jaguariuna pré-enxertia produzidas na vertical *indoor* e estufa agrícola.

Causa de variação	QM	QM					
		AH	DC	MFPA	MSPA	MFRAIZ	MSRAIZ
Bloco	9	0,066139	0,038362	0,179179	0,003125	0,028223	0,000207
Cultivo	1	31,152250*	0,012250	2,134440*	0,018063*	0,002723	0,005523*
Material	1	0,072250	2,798410*	4,121640*	0,064802*	0,390063*	0,002723*
Cultivo * Material	1	0,072250	0,320410*	0,127690	0,018063	0,301022	0,001103
Resíduo	27	0,091324	0,034333	0,100664	0,002694	0,039369	0,000301
CV (a)		9,69	6,79	16,38	26,65	25,63	30,84
Média		3,1175000	2,7285000	1,9365000	0,1947500	0,7742500	0,0562500

\*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

**Tabela 5.** A Tabela 5 mostra os resultados da análise de variância para número de plantas sobreviventes pós enxertia (NP - 15 plantas total), altura da planta (AP), número de bifurcações (NB) e número de flores (FLOR) emitidas nas plantas avaliadas aos 61 DAS (07/01/2025) produzidas na vertical *indoor* e estufa agrícola.

Causa de variação	QM	QM			
		NP	AP	NB	FLOR
Rep	2	0,791667	17,946667	0,845000	11,541667
Cultivo	1	0,041667	684,801667*	208,8600*	871,215000*
Luz	3	0,819444	2,815000	0,191111	2,788333
Cultivo * Luz	3	0,263889	1,939444	0,588889	3,055000
Resíduo	14	1,934524	8,411429	0,690714	5,875000
CV (a)		10,53	8,37	10,94	17,94
Média		13,208333	34,6416667	7,60000	13,508333

\*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.