

PROJETO GUARDA-CHUVA: SISTEMA DE FISIOLOGIA VEGETAL DE PRECISÃO COMO MODELO DE EMPREENDEDORISMO DE IMPACTO E PESQUISA APLICADA EM AMBIENTE TROPICAL

Luiz Tena Medeiros Nogueira[1]

Resumo

Plantas medicinais de clima temperado possuem baixa adaptação em climas tropicais. O Brasil depende de espécies importadas para suprir a demanda de remédios, o custo de importação comercial de espécies como a Valeriana officinalis é aproximadamente 4 vezes o valor do produto, influenciando na inflação de medicamentos. O projeto Guarda-Chuva possuirá uma câmara de cultivo com controle simultâneo de variáveis como temperatura,luminosidade, umidade e CO_2 e uma câmara auxiliar, responsável por induzir o estresse abiótico controlado, o local de instalação será no Laboratório de Taxonomia da UFRA com tempo de maturação de 14 meses, após o processo de colheita será realizado o procedimento padronizado de secagem, rastreio e armazenamento, com potencial de ampliar o acesso a fitoterápicos à população.

Palavras-chave: fisiologia vegetal de precisão; elicitação controlada; fitoterápicos; empreendedorismo de impacto; interdisciplinaridade.

Abstract

Temperate medicinal plants have low adaptability to tropical climates. Brazil depends on imported species to meet pharmaceutical demand; the commercial import cost of species such as Valeriana officinalis is approximately four times the product's origin value, contributing to the inflation of phytotherapic medicines. The Umbrella Project features a cultivation chamber with simultaneous control of variables such as temperature, luminosity, humidity and CO_2, and an auxiliary chamber responsible for inducing controlled abiotic stress. The installation site will be the Taxonomy Laboratory of UFRA, with a maturation period of 14 months, after which a standardized drying, traceability and storage protocol is carried out, with the potential to expand population access to phytotherapic medicines.

Keywords: precision plant physiology; controlled elicitation; phytotherapics; impact entrepreneurship; interdisciplinarity

[1] Graduando em AGRONOMIA, UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA UFRA luiztena8@gmail.com



INTRODUÇÃO

O Brasil importa a maior parte dos fitoterápicos industrializados, incluindo extratos de espécies de clima temperado como a *Valeriana officinalis*, cujo custo CIF (custo, seguro e frete) é aproximadamente quatro vezes superior ao valor do produto na origem, gerando inflação no mercado de medicamentos fitoterápicos e comprometendo o acesso de remédios desta natureza a classes vulneráveis, cenário agravado pelo fato de que a produção nacional de insumos fitoterápicos com qualidade farmacêutica é praticamente inexistente no país (HASENCLEVER et al., 2016).

O projeto Guarda-Chuva é um sistema de controle fisiológico de alta precisão composto por: uma câmara de cultivo equipada com sensores de temperatura, umidade, CO_2 e luminosidade, uma câmara auxiliar de pré-condicionamento de ar responsável pelo controle do estresse abiótico, e um sistema de desidratação para a etapa de pós-colheita (RAMAKRISHNA; RAVISHANKAR, 2011). O sistema ocupará 4 m², contará com um painel de monitoramento em tempo real de informações como temperatura, umidade e salinidade do solo, e intensidade luminosa. O projeto será instalado no Laboratório de Taxonomia da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) e administrado por pesquisadores e estagiários do Departamento de Botânica.

REVISÃO DA LITERATURA

O fenômeno, conhecido como elicitação abiótica, fundamenta a estratégia central do sistema: não cultivar a planta em condições de conforto, mas conduzi-la ao limiar do estresse benéfico, este conceito é denominado hormese. Caicedo-López et al. (2021) reforçam que elicitores como a radiação UV-B atuam como moduladores positivos da sobrevivência vegetal em condições de estresse, ativando respostas de defesa que resultam no aumento da produção de compostos secundários de interesse agrícola e farmacológico.

O cultivo de plantas medicinais em ambientes controlados representa uma abordagem crescente na agricultura de precisão, especialmente para espécies de clima temperado

cultivadas em regiões tropicais. Mustafavi et al. (2016) demonstraram em experimento com *Valeriana officinalis* que o teor de óleo essencial dobrou quando a disponibilidade de água foi reduzida para 50% da capacidade de campo, evidenciando que o manejo hídrico controlado é um dos fatores mais determinantes para a qualidade da matéria-prima (MORTEZA et al., 2009).

Wiśniewski et al. (2016) registraram que solos franco-arenosos com pH neutro e adubação mineral equilibrada com nitrogênio, fósforo e potássio constituem as condições edáficas mais favoráveis para o desenvolvimento radicular e acúmulo de princípios ativos (BEDENIK, 2020).

METODOLOGIA

A estrutura da câmara de cultivo será feita de painéis de poliisocianurato (PIR) de 50 mm. escolha feita por seu baixo índice de condutividade térmica, conferindo desempenho térmico superior ao policarbonato convencional. (SANTANA et al.,2022). tornando viável atingir 12–14°C mesmo em ambiente tropical sem necessidade de sistema de refrigeração industrial (SANTANA et al., 2022). O *frame* estrutural será composto por perfis de alumínio de 30 mm × 30 mm, material escolhido por sua resistência à corrosão em ambientes úmidos e maleabilidade que facilita manutenção e reconfiguração. Na parte mais interna, uma camada de mylar será adicionada às paredes. O material demonstrou melhor desempenho entre materiais como *Tradename*, *Extenday80*, *Uniset O* e *Svensson ILS Alu*, com reflexão de até três vezes superior aos demais sobre o espectro medido de 290 a 800 nm, abrangendo toda a faixa de radiação fotossinteticamente ativa (MEINHOLD et al., 2010). O uso do mylar tem papel fundamental na potencialização do crescimento de plantas em câmaras de cultivo, por conta de sua homogeneização da intensidade luminosa durante o crescimento vegetativo (KATAGIRI et al., 2015).

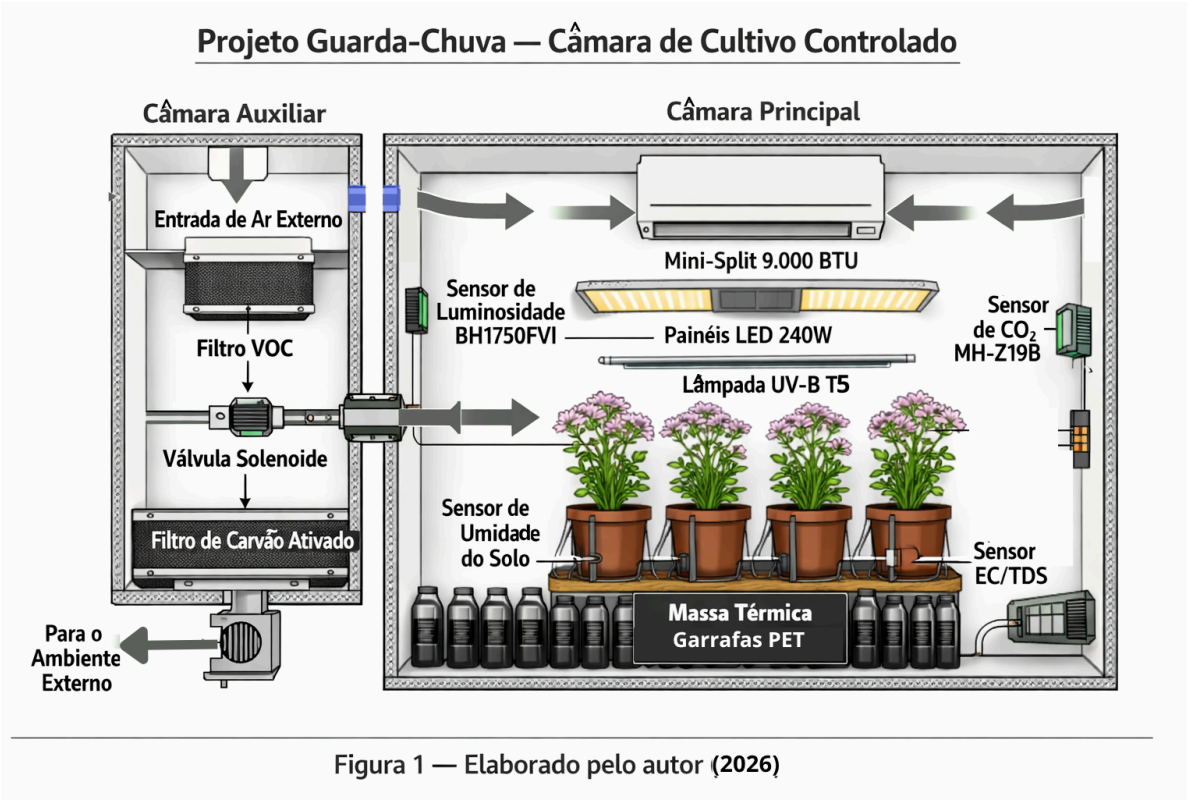


Figura 1 — Elaborado pelo autor (2026)

A porta será vedada com borracha e fita foil de alumínio nas juntas, garantindo o controle de gases e líquidos, tornando viável o controle térmico e de CO_2. A parede lateral da câmara contará com uma janela de inspeção de 20×20 cm com vidro duplo e obturador opaco garantirá que nenhuma luz externa interfira no fotoperíodo programado quando a observação não estiver sendo realizada. Conforme Haider et al. (2025, p. 34, tradução própria).

O sistema de refrigeração será composto por camadas. Na primeira camada estarão os painéis PIR que reduzirão a carga térmica a ser superada pelo sistema ativo, tornando-o energeticamente viável.

> o painel isotérmico tipo PIR possui baixo índice de condutibilidade térmica, menor que 0,06 W/mºC... este material com espessura de projeto mínima é capaz de obter isolamento térmico bem elevado, comprovando o seu diferencial em relação à alvenaria" (SANTANA et al., 2022, p. 6).

O componente principal do sistema de refrigeração será o *mini-split inverter* de 9.000 BTU que operará em ambiente completamente fechado e isolado. Sistemas *mini-split* sem dutos não requerem trocas de ar com o espaço externo, eliminando perdas de energia por infiltração (BHANDARI; FUMO, 2022). O ar circulará dentro das câmaras e retornará ao sistema de ventilação, garantindo que não ocorra contaminação externa e manterá o ar interno na temperatura adequada, O inverter conferirá maior precisão no controle térmico e reduzirá a margem de erro.

Na terceira camada, garrafas PET serão pintadas de preto e enchidas de água, absorvendo o calor durante os horários de maior temperatura externa e liberando-o gradualmente conforme a temperatura do ambiente diminui, suavizando a transição de 22°C para 13°C.

Entre o exterior e a câmara principal existirá uma câmara auxiliar responsável pelo pré-condicionamento, nenhum ar externo entrará diretamente na câmara principal sem antes passar pela câmara auxiliar. O circuito de renovação de CO_2 operará a partir do monitoramento contínuo do sensor MH-Z19B (FREITAS et al., 2025). No momento em que a concentração cai abaixo do recomendado, o Arduino acionará a válvula solenoide, que abrirá por um pulso controlado permitindo a entrada de ar da câmara auxiliar para a câmara principal. Esse ar passará pelo filtro de compostos orgânicos voláteis (VOCs), garantindo que gases indesejados não afetem o crescimento vegetativo. O circuito de saída será responsável pela eliminação de odores indesejados. O exaustor operará em baixa rotação contínua, criando leve pressão negativa no sistema. O ar exaurido percorrerá o filtro de carvão ativado, que reterá compostos orgânicos voláteis como o ácido valerênico e outros terpenos, protegendo o ambiente de trabalho e as demais espécies do laboratório de taxonomia.

O sistema de monitoramento será composto por cinco tipos de sensores com finalidades distintas, porém complementares. O sensor BH1750FVI realizará a medida da iluminância em lux, unidade fotométrica que representa o fluxo luminoso por unidade de área (SILVEIRA et al., 2021). Os valores em lux serão convertidos automaticamente pelo sistema para estimar a quantidade de PPFD, unidade padrão em fisiologia vegetal para quantificar e garantir o controle da radiação disponível para fotossíntese.

O monitoramento constante pelo BH1750FVI garantirá que os painéis Quantum Board entreguem o PPFD programado e alertem sobre degradação gradual dos LEDs ao longo do ciclo, permitindo ajustes de potência para manter a estabilidade experimental entre ciclos.

O sensor MH-Z19B monitorará continuamente a concentração de CO_2 em partes por milhão (ppm). Em câmaras fechadas, a fotossíntese consome CO_2 continuamente, sem renovação, a concentração cairá abaixo de 400 ppm, limitando o crescimento vegetativo. O sensor acionará a válvula solenoide quando a concentração cair abaixo da faixa ideal de 800 a 1.200 ppm, garantindo disponibilidade de carbono assimilável para a planta sem abrir o circuito térmico principal (XU, 2015; ZHOU et al., 2024).

Os quatro sensores capacitivos de umidade do solo, um por quadrante, medirão a umidade volumétrica do substrato sem contato elétrico direto, esses sensores serão indispensáveis para reduzir o estresse de forma controlada, evitando que algum quadrante seque por completo, o que comprometeria o sistema radicular antes da colheita do rizoma.

O sensor EC/TDS medirá a condutividade elétrica da solução do solo em mS/cm, indicando a concentração de sais dissolvidos. Sem esse sensor o sistema não conseguiria distinguir o estresse hídrico provocado do estresse salino não intencional.

Para a segurança dos equipamentos e da espécie observada, a utilização de dois nobreaks de capacidades distintas será parte essencial do protocolo de segurança. O primeiro, de 600 VA, protegerá peças que podem comprometer informações documentadas e a rastreabilidade do ciclo e que juntos consomem menos de 50 W. O segundo, de 1.500 VA, protegerá os equipamentos cruciais para a sobrevivência da planta.

O sistema de iluminação será composto por dois painéis *Quantum Board* de 240 W, equipados com LEDs Samsung LM301H de espectro completo (*full-spectrum*), posicionados na parte superior da câmara principal com distribuição uniforme da radiação sobre toda a área de cultivo. A escolha do espectro completo será justificada pela necessidade de cobrir simultaneamente as faixas de absorção das clorofilas a e b, responsáveis pela fotossíntese, e os fotorreceptores secundários que regulam o desenvolvimento vegetativo e a síntese de metabólitos (TAIZ et al., 2017). A intensidade luminosa será controlada por um sistema de automação com *dimmers*, permitindo o ajuste da potência dos painéis por meio do Arduino,

de acordo com configurações pré-estabelecidas e valores monitorados em tempo real pelo sensor BH1750. Esse controle será imprescindível para manter o PPFD constante ao longo do ciclo, possibilitando a adaptação da intensidade luminosa conforme a fase de crescimento. Estudos conduzidos com espécies do gênero *Valeriana* em ambiente controlado demonstram respostas fisiológicas distintas sob diferentes intensidades luminosas, uma lâmpada UV-B T5 de 6 W atuará como agente elicitor abiótico, induzindo estresse abiótico controlado, ativando vias metabólicas secundárias e aumentando a produção dos compostos secundários desejados.

> "[...] A radiação UV-B atua como modulador positivo para melhorar a sobrevivência das plantas em condições de estresse biótico e abiótico" (CAICEDO-LÓPEZ et al., 2021, p. 72).

O fotoperíodo será simulado pelo Arduino via módulo *relay*, mantendo a iluminação de 12 a 14 horas por dia, simulando condições precisas de primavera e outono do clima temperado do local nativo da espécie. O ciclo de luz e escuridão será mantido com precisão ao longo dos 14 meses.

O substrato utilizado nos vasos de cultivo será composto por uma mistura de solo franco-arenoso e areia limpa na proporção dois para um, com base nas condições experimentais documentadas para a espécie (MUSTAFAVI et al., 2016). O pH do substrato será mantido na faixa de 6,5 a 7,0, compatível com os parâmetros de solo neutro registrados em experimentos de cultivo de *Valeriana officinalis* em campo (WIŚNIEWSKI et al., 2016). A adubação mineral de base seguirá as proporções documentadas na literatura para a espécie, com aplicação de nitrogênio, fósforo e potássio incorporados ao substrato antes do plantio (WIŚNIEWSKI et al., 2016).

O sistema de gotejamento individual por vaso será controlado pelo Arduino via módulo *relay*. Pesquisas demonstram que a irrigação por gotejamento aumenta o rendimento de raízes secas com rizomas comparado ao cultivo sem irrigação (PRYVEDENIUK et al., 2020).No mês anterior à colheita, o sistema executará o protocolo de déficit hídrico controlado, reduzindo gradualmente a irrigação do substrato entre 70% e 50% da água disponível. Mustafavi et al. (2016) documentaram que essa faixa de déficit hídrico duplicou o teor de óleo essencial da *Valeriana officinalis* em relação ao controle com irrigação plena,

sendo a regulação dos intervalos de irrigação entre 70% e 50% AWC "a melhor forma prática para a produção de valeriana" (MUSTAFAVI et al., 2016, p. 7, tradução própria).

Após a conclusão do ciclo de cultivo, será realizada a colheita do rizoma. De acordo com as recomendações da Farmacopeia Brasileira, a droga vegetal consiste em órgãos subterrâneos da *Valeriana officinalis* L. (raízes, rizomas e estolões) secos, inteiros ou fragmentados, O material colhido será limpo e em seguida submetido à pré-murcha em ambiente sombreado entre 24 a 48 horas em temperaturas de 18°C a 22°C. Após concluir a pré-murcha, o material será seco em estufa entre 35°C e 40°C com baixo fluxo de ar e umidade preferencialmente inferior a 30%.

O produto seco será submetido a corte com granulometria de 2 mm, padrão para droga vegetal destinada à manipulação magistral conforme a RDC 67/2007. Segundo o Formulário de Fitoterápicos da Farmacopeia Brasileira,

> "a embalagem deve garantir proteção do fitoterápico contra contaminações, efeitos da luz e umidade e apresentar lacre ou selo de segurança que garanta a inviolabilidade do produto" (BRASIL, 2021, p. 212).

O material será embalado a vácuo ou em *kraft* com alumínio e receberá código de rastreio gerado automaticamente pelo painel de controle, vinculando o lote ao registro completo das informações da fase de cultivo, registrados ao longo dos 14 meses.

Tabela 1 – Parâmetros técnicos do sistema Guarda-Chuva

Categoria	Parâmetro	Valor / Especificação
Estrutura física	Área total do sistema	4 m²
Estrutura física	Painel isolante	PIR 50 mm (< 0,06 W/m°C)
Estrutura física	Frame estrutural	Perfis de alumínio 30 × 30 mm
Estrutura física	Revestimento interno	Mylar (reflexão 290–800 nm)
Parâmetros climáticos	Temperatura alvo	12–14 °C
Parâmetros climáticos	Sistema de refrigeração	Mini-split inverter 9.000 BTU
Parâmetros climáticos	Concentração ideal de CO_2	800–1.200 ppm
Parâmetros climáticos	Gatilho de renovação de CO_2	< 400 ppm (aciona válvula solenoide)

Categoria	Parâmetro	Valor / Especificação
Parâmetros climáticos	Fotoperíodo simulado	12–14 h/dia (primavera/outono)
Substrato	Composição	Solo franco-arenoso + areia limpa (2:1)
Substrato	pH	6,5–7,0
Substrato	Adubação mineral	N, P e K (incorporados ao substrato antes do plantio)
Iluminação	Painéis LED	2 × Quantum Board 240 W (Samsung LM301H full-spectrum)
Iluminação	Elicitor UV-B	Lâmpada UV-B T5 6 W
Protocolo hídrico	Sistema de irrigação	Gotejamento individual por vaso (Arduino)
Protocolo hídrico	Déficit hídrico pré-colheita	50–70% da água disponível (AWC) — último mês
Ciclo de cultivo	Tempo de maturação	14 meses
Pós-colheita	Pré-murcha	24–48 h, 18–22 °C, ambiente sombreado
Pós-colheita	Secagem em estufa	35–40 °C, baixo fluxo de ar, umidade < 30%
Pós-colheita	Granulometria do produto final	2 mm (RDC 67/2007)

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

RESULTADOS

Espera-se comprovar a possibilidade de cultivo de espécies medicinais de clima temperado através de câmaras de controle e equipamentos de monitoramento de variáveis cruciais para o crescimento fisiológico da espécie de estudo.

A utilização de sensores e registros contínuos ao longo de todo o ciclo permite a construção de um protocolo experimental pré-definido, denominado como *Preset*, que consolida parâmetros ideais para a produção padronizada da espécie. A padronização possibilita a geração de dados para pesquisas subsequentes na Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), fortalecendo a integração entre ensino, pesquisa e extensão, consolidando o projeto como modelo de inovação aplicada ao empreendedorismo de impacto.

DISCUSSÃO

Considerando dados históricos, o preço internacional da *Valeriana officinalis* já atingia *USD* 1.900 por tonelada (valor FOB), com tendência de crescimento ano a ano (ARTEAGA LEAL; ALBUQUERQUE ARANA, 2007). Nesse contexto, a produção nacional com rastreabilidade e padronização pode gerar vantagem competitiva, reduzindo a dependência externa e aumentando a margem de valor agregado ao longo da cadeia produtiva.

O Projeto Guarda-Chuva não se limita a um sistema de cultivo em ambiente controlado, mas à capacidade de simular o ambiente de origem de espécies de climas temperados e de espécies com exigências específicas, manipulando através de um painel de controle multivariáveis ambientais de forma integrada e rastreável. O sistema configura-se assim não apenas como uma solução tecnológica para cultivo, mas como uma linha de pesquisa aplicada, um modelo de inovação e impacto social com potencial de integração entre universidade, setor produtivo e indústria farmacêutica. A capacidade de adaptação do sistema a diferentes espécies por meio dos Presets amplia significativamente o escopo de aplicação da proposta (KOZAI et al., 2019).

A padronização e rastreabilidade, seguidas de regime rigoroso de monitoramento dos processos de cultivo e de suas etapas de pós-colheita, permitem atender critérios de qualidade exigidos pela Farmacopeia Brasileira (BRASIL, 2021), garantindo a qualidade e segurança do produto final e possibilitando a expansão do modelo para aumento da produtividade conforme a demanda comercial.

Economicamente, a produção de *Valeriana officinalis* no Brasil ainda é baixa comparada com a necessidade do mercado farmacêutico de fitoterápicos. A dependência de importações, cujos custos CIF (Custo, Seguro e Frete) atingem valores até quatro vezes superiores ao produto de origem por conta de encargos logísticos e comerciais (HASENCLEVER et al., 2016)

Financeiramente, o sistema apresenta potencial de atratividade para investidores do setor farmacêutico, especialmente para empresas dependentes de insumos importados que

visam maior controle de qualidade e estabilidade da cadeia produtiva. O investimento inicial em infraestrutura e automação seria compensado pelo valor agregado do produto final e pela redução de custos logísticos associados à importação. O sistema proposto contribuiria para a formação de uma cadeia produtiva nacional de fitoterápicos, reduzindo custos e ampliando o acesso da população a medicamentos de base vegetal.

CONCLUSÃO

Inserido no eixo de Educação, Pesquisa e Extensão, o projeto Guarda-Chuva configura-se como um modelo estratégico para a formação de linhas de pesquisas acadêmicas e desenvolvimento de soluções inovadoras com impacto social, reunindo conhecimentos de fisiologia vegetal, automação e empreendedorismo. O sistema amplia as possibilidades de aplicação prática da ciência, promovendo a conexão entre o espaço universitário, o setor produtivo e as demandas reais da sociedade, apresentando potencial para contribuir com redução da dependência de importações e fortalecimento da cadeia produtiva nacional de fitoterápicos, promovendo maior acessibilidade e agregação de valor à produção interna.

Como perspectivas futuras, destacam-se o aprofundamento de estratégias complementares, como o melhoramento genético, com objetivo de otimizar ainda mais a adaptação de plantas de clima temperado em condições tropicais e um subproduto derivado da moagem da *Valeriana officinalis* com maior valor de mercado porém com maior rigor sanitário.

Alinhado à Agenda 2030 das Nações Unidas, o projeto Guarda-Chuva articula-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU, 2015), especialmente ao ODS 3 (Saúde e Bem-Estar), ao contribuir para a ampliação do acesso a medicamentos fitoterápicos de qualidade; ao ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), ao propor uma solução tecnológica inovadora aplicada à produção vegetal; e a

ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), ao incentivar a produção nacional rastreável e a redução da dependência de importações.

REFERÊNCIAS

ARTEAGA LEAL, J.; ALBUQUERQUE ARANA, F. E. *Estudio de factibilidad para la creación de empresa: acopio, selección, exportación y comercialización nacional de valeriana sp.* 2007. Tese (Licenciatura em Administração) — Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Peru, 2007.

BEDENIK, G. *Instrumentação de câmara de cultivo para agricultura controlada: desafios da instrumentação eletrônica na agricultura controlada.* Relatório Final de Iniciação Científica (PIBIC/COPES) — Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2020.

BHANDARI, M.; FUMO, N. A review of ductless mini split HVAC system. *Energy Reports*, v. 8, p. 5930–5942, 2022. DOI: 10.1016/j.egyr.2022.03.209.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. *Formulário de Fitoterápicos da Farmacopeia Brasileira.* 2. ed. Brasília: ANVISA, 2021.

CAICEDO-LÓPEZ, L. H. et al. Elicitores: implicações bioéticas para a agricultura e a saúde humana. *Revista Bioética*, Brasília, v. 29, n. 1, p. 72, jan./mar. 2021.

FREITAS, A. F.; DAVID, L.; SOUSA, R. D. *Monitoramento e controle dos níveis de dióxido de carbono (CO_2) em ambientes fechados.* Trabalho de Conclusão de Curso — Faculdade de Tecnologia Itaquera, Centro Paula Souza, São Paulo, 2025.

HAIDER, M. H.; BASIL, N. M.; AL-MOUSSAWI, M. A. The latest development in double glass window: a review. *Journal of Contemporary Technology and Applied Engineering*, v. 3, n. 2, p. 29–46, 2025. DOI: 10.21608/jctae.2025.346387.1037.

HASENCLEVER, L. et al. A indústria de fitoterápicos brasileira: desafios e oportunidades. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 22, n. 8, p. 2559–2569, 2016.

KATAGIRI, F. et al. Design and construction of an inexpensive homemade plant growth chamber. *PLoS ONE*, v. 10, n. 5, e0126826, 2015. DOI: 10.1371/journal.pone.0126826.

KOZAI, T.; NIU, G.; TAKAGAKI, M. (Ed.). *Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production.* 2. ed. Amsterdam: Elsevier, 2019.

MEINHOLD, T. et al. Optical properties of reflection ground covers with potential for enhancing fruit colouration. *Biosystems Engineering*, v. 107, n. 2, p. 155–160, 2010.

MORTEZA, E. et al. Effects of sowing date and planting density on quantity and quality features in valerian (*Valeriana officinalis* L.). *Journal of Ecology and the Natural Environment*, v. 1, n. 9, p. 201–205, 2009.

MUSTAFAVI, S. H. et al. Effect of water stress on some quantitative and qualitative traits of valerian (*Valeriana officinalis* L.) plants. *Bulletin UASVM Horticulture*, v. 73, n. 1, 2016. DOI: 10.15835/buasvmcn-hort:11681.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável.* Nova York: ONU, 2015. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustentavel. Acesso em: 19 mar. 2026.

PRYVEDENIUK, N. et al. New approaches in growing technology of *Valeriana officinalis* L. under the conditions of climate change. *Agriculture and Forestry*, v. 66, n. 4, 2020. DOI: 10.17707/AgricultForest.66.4.02.

RAMAKRISHNA, A.; RAVISHANKAR, G. A. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. *Plant Signaling & Behavior*, v. 6, n. 11, p. 1720–1731, 2011.

SANTANA, A. G.; NOLÊTO, B. C.; VIEIRA, A. G. Análise comparativa das propriedades mecânicas e físicas em painéis isotérmicos PIR e Lã de Rocha. *Revista Científica do ITPAC*, Araguaína, v. 15, n. 1, pub. 1, fev. 2022. DOI: 10.29327/231587.15.1-1.

SILVEIRA, V. B.; DAL PAI, A.; DAL PAI, E. Avaliação de desempenho do sensor BH1750FVI (baixo custo) na medida da radiação solar global. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 14, e170101421779, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i14.21779.

TAIZ, L. et al. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal.* 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

WIŚNIEWSKI, J. et al. Plantation methods effects on common valerian (*Valeriana officinalis*) yield and quality. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, v. 26, n. 1, p. 177–184, 2016.

XU, M. The optimal atmospheric CO_2 concentration for the growth of winter wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of Plant Physiology*, 2015.

ZHOU, Y. et al. Response of photosynthetic characteristics and yield of grape to different CO_2 concentrations in a greenhouse. *Frontiers in Plant Science*, v. 15, p. 1378749, 2024. DOI: 10.3389/fpls.2024.1378749.