COFFEA ARABICA CV. ARARA SOB LUZ LED ROSA: ANÁLISES MORFOLÓGICAS DA GERMINAÇÃO *IN VITRO*

Autores: Lara Aparecida de Sá Morais, Gustavo Fernandes Mariano, Ewelin Nunes Martins, Warley Costa Silva, Karina Pope Mion, Milene Miranda Praça Fontes, Elias Terra Werner.

Universidade Federal do Espirito Santo, Laboratório de Citogenética e Cultura de Tecidos Vegetais, Alto Universitário, S/N, 29500-000 - Alegre - ES, Brasil, lara.morais@edu.ufes.br, gustavo123mariano@hotmail.com, ewelin.martins@edu.ufes.br, warley.silva@edu.ufes.br, karina.mion@edu.ufes.br, milenemiranda@yahoo.com.br, elias.werner@ufes.br.

Resumo

A propagação *in vitro* de espécies vegetais frequentemente depende da adição de sacarose ao meio de cultura, uma vez que as trocas gasosas limitadas nesse ambiente restringem a capacidade fotossintética das plântulas. Essa dependência de fontes externas de carboidrato pode elevar a altos custos do processo e aumentar o risco de contaminação, o que justifica a busca por protocolos que dispensem esse insumo e favoreçam uma boa qualidade para a fase *ex vitro*. Diante disso, este trabalho teve como propósito avaliar o desenvolvimento *in vitro* de *Coffea arabica* cv. Arara sob luz rosa, em recipientes com tampa convencional, comparando meios de cultura com e sem sacarose. Empregou-se meio MS suplementado com 7,5 g L^{-1} de ágar, na presença ou ausência de 30 g L^{-1} de sacarose, com pH ajustado para 5,7 ± 0,1, por 81 dias sob fotoperíodo controlado. Para as variáveis comprimento da parte aérea, comprimento radicular, número de folhas e número de segmentos nodais, não foram evidenciadas diferenças estatísticas entre os tratamentos.Conclui-se que luz rosa e redução da sacarose são adequadas ao cultivo de *Coffea arabica* cv. Arara.

Palavras-chave: Coffea arabica. Fotoautotrofia, Fotomixotrofia. Luz rosa. Micropropagação *in vitro*.

Área do Conhecimento: Ciências Biológicas.

Introdução

Coffea arábica cv. Arara é uma cultivar amplamente utilizado na cafeicultura brasileira devido à sua elevada produtividade, resistência à ferrugem e excelente qualidade sensorial da bebida (Coelho *et al*., 2024). Além da sua importância econômica para o setor cafeeiro, a cultivar apresenta grande potencial agronômico em diferentes regiões produtoras do Brasil, contribuindo significativamente para o fortalecimento da produção nacional de café (Alixandre *et al*., 2020).

Nesse contexto, a cultura de tecidos vegetais (CTV) *in vitro* representa uma ferramenta biotecnológica estratégica para a multiplicação em larga escala de plantas, superando limitações da propagação convencional como a heterogeneidade genética, a disseminação de doenças e a demora na obtenção de plantas adultas (Aguilar *et al*., 2022). Contudo, as condições artificiais dos sistemas tradicionais denominados fotomixotrófico, frequentemente submetem os propágulos a estresses fisiológicos que comprometem o desenvolvimento: baixa disponibilidade de dióxido de carbono, acúmulo de etileno, alta umidade relativa, funcionamento inadequado dos estômatos e redução da capacidade fotossintética (Abdalla *et al*., 2022).

Tais alterações resultam em elevadas taxas de mortalidade durante a etapa de aclimatização *ex vitro*, o que representa um dos principais gargalos para a produção comercial de mudas de espécies arbóreas perenes como o cafeeiro (Valdés *et al*., 2021).

A qualidade da luz fornecida durante o cultivo *in vitro* exerce papel determinante sobre a germinação e o desenvolvimento inicial das plântulas, já que os fotorreceptores vegetais respondem de maneira distinta a diferentes faixas espectrais (Cardoso-Maganña *et al*., 2024). Entre as fontes luminosas artificiais, os LEDs que combinam as faixas azul e vermelha resultando na chamada luz rosa têm se destacado por favorecer processos morfogênicos como o alongamento de brotos e a formação de raízes em diversas espécies cultivadas in vitro (Fan *et al*., 2022).

Nos sistemas convencionais de micropropagação, denominado fotomixotrófico, a sacarose é adicionada ao meio de cultura como fonte exógena de carbono, suprindo a limitada capacidade fotossintética dos explantes sob as condições artificiais de cultivo, ainda que essa prática eleve os custos de produção e a suscetibilidade à contaminação (Mariano *et al*., 2026). Em contrapartida, os sistemas de micropropagação fotoautotrófica, conduzidos sem a adição desse carboidrato, dependem inteiramente da atividade fotossintética das plântulas e de um ambiente *in vitro* com trocas gasosas adequadas, apresentando potencial para reduzir custos e favorecer plântulas fisiologicamente mais aptas à fase de aclimatização (Nguyen; Xiao; Kozai, 2020).

A vedação do recipiente de cultivo define, em grande parte, a renovação do oxigênio dentro do frasco, o que impacta diretamente os níveis internos de CO_2 e umidade aos quais os explantes ficam expostos. Tampas convencionais, por serem menos permeáveis, tendem a restringir a renovação do oxigênio, favorecendo o acúmulo de umidade relativa e a manutenção de baixas concentrações de CO_2 no interior do recipiente (Oliveira Junior *et al*., 2022). Essa limitação na disponibilidade de CO_2 tende a reduzir a eficiência fotossintética dos explantes, tornando-os mais dependentes de fontes exógenas de carbono fornecidas pelo meio de cultura, condição característica do sistema fotomixotrófico de micropropagação (Mariano *et al*., 2026).

Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar o desenvolvimento *in vitro* de *Coffea arabica* cv. Arara sob luz rosa, comparando meios de cultura com e sem sacarose, em frascos vedados com tampa convencional.

Metodologia

Sementes de Coffea arábica cultivar Arara foram coletadas em uma lavoura de café no município de Iúna – ES. Os experimentos relacionados à cultura de tecidos vegetais foram conduzidos no laboratório de Citogenética e Cultura de Tecidos Vegetais presente no prédio Núcleo de Estudos de Bioenergia (NEBES) da Universidade Federal do Espírito Santo campus Alegre (20°45'39.9"S 41°32'11.1"W).

Para testar o cultivo fotomixotrófico e fotoautotrófico no café, diferentes condições *in vitro* foram empregadas, a partir de um delineamento experimental em DIC num esquema fatorial triplo 2 x 1 x 1 (meio x vedação x luz), com seis repetições por tratamento, sendo a repetição constituída por um frasco e duas semente/planta.

Para o fator meio, as sementes foram inoculadas em meio de cultura contendo 4,4 g L-1 de MS (MURASHIGE; SKOOG, 1962) acrescido de 7,5 g L-1 de ágar e 30 g L-1 de sacarose, ou o meio MS acrescido de 7,5 g L-1 de ágar, contudo sem adição de sacarose. Ambos os meios tiveram o pH ajustado para 5,7 ± 0,1. Potes de vidro (600 ml; 12 cm de altura e 5 cm de diâmetro interno) contendo 100 ml de meio foram utilizados e autoclavados a 121ºC a 1,1 atm por 20 min.

Para o fator vedação, foram utilizados, tampa de plástico fosca. O experimento foi conduzido para sala de crescimento a luz LED rosa (duas fitas de LED Full Spectrum, Grow Light, 665 e 450 nm, fornecendo 25 µmol m-2 s-1) (fornecendo 50 µmol m-2 s-1). Os frascos foram incubados a temperatura de 25±2 ºC em sala de crescimento sob fotoperíodo de 16/8 h (luz/escuro).

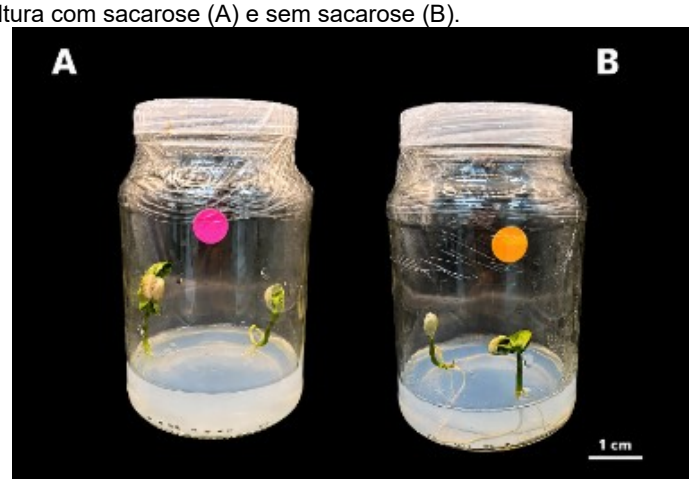
Foram avaliados a porcentagem de germinação, comprimento de parte aérea, comprimento de raiz, número de folhas e número de segmentos nodais no tempo 0 a 81 dias.

Resultados

As avaliações realizadas ao longo do período de cultivo permitiram acompanhar o crescimento e desenvolvimento inicial das plântulas de *Coffea arabica* cv. Arara submetidas aos meios MS com e sem adição de sacarose. Aos 30 dias de cultivo, as plântulas submetidas à luz LED rosa já apresentavam diferenças no desenvolvimento entre os meios de cultura (Figura 1). O meio sem sacarose, Figura 1(A), favoreceu o desenvolvimento da parte aérea, com a maior média registrada, atingindo 44,8 mm, enquanto o meio com sacarose apresentou uma menor média de 36,58 mm. O mesmo padrão se repetiu para o comprimento radicular, em que o meio sem sacarose alcançou uma maior média de 49,11 mm, na qual uma menor média de 46,47 mm foi apresentada no meio com sacarose. Quanto ao número de folhas, o meio sem sacarose favoreceu o surgimento de um número maior de folhas atingindo até 4 folhas desenvolvidas, enquanto no meio com sacarose obteve um menor média com apenas 2 folhas. O número de segmentos nodais apresentou uma média de 2 segmentos no meio sem

sacarose evidenciou apenas 1 segmento no meio com sacarose. mesmo nessa fase inicial do cultivo, as plântulas mantidas sem sacarose já demonstravam um desenvolvimento morfológico mais avançado, superando o meio com sacarose em todos os parâmetros avaliados.

Figura 1 – Desenvolvimento de plântulas de *Coffea arabica* cv. Arara aos 30 dias de cultivo *in vitro*, sob luz LED rosa, em meio de cultura com sacarose (A) e sem sacarose (B).



Fonte: Próprio autor (2026).

Para a avaliação de 60 dias, foi observado que o explante cultivado em meio de cultura sem sacarose apresentou uma maior média para comprimento de parte aérea 52,79 mm, enquanto o meio com sacarose mostrou uma menor média de 50,8 mm. O mesmo padrão foi observado para o comprimento de raiz, em que o meio sem sacarose atingiu 64,12 mm, em relação ao meio com sacarose que obteve 62,82 mm. Quanto ao número de folhas, a maior média encontrada foi de 6 folhas no meio sem sacarose, quanto no meio com sacarose evidenciou apenas 5 folhas. Da mesma forma, o número de segmentos nodais foi superior no meio sem sacarose, alcançando 4 segmentos, enquanto o meio com sacarose atingiu no máximo 3 segmentos. Com 60 dias, portanto, nota-se que o meio sem sacarose se destacou em relação ao meio com sacarose para todas as variáveis avaliadas (Figura 2).

Figura 2– Desenvolvimento de plântulas de *Coffea arabica* L. cv. Arara aos 60 dias de cultivo *in vitro*, sob luz LED rosa, em meio de cultura com sacarose (A) e sem sacarose (B).



Fonte: Próprio autor (2026).

Ao final do experimento, aos 81 dias de cultivo, foi realizada a avaliação final das plântulas submetidas à luz LED rosa, considerando o comprimento da parte aérea (CPA), comprimento das raízes, número de folhas e número de segmentos. As plântulas apresentaram diferenças no padrão de desenvolvimento entre os meios de cultura, sendo observadas variações principalmente no número de folhas e no desenvolvimento do sistema radicular (Figura 3).

Figura 3– Desenvolvimento de plântulas de *Coffea arabica* L. cv. Arara aos 81dias de cultivo *in vitro*, sob luz LED rosa, em meio de cultura com sacarose (A) e sem sacarose (B).



Fonte: Próprio autor (2026).

os resultados quantitativos encontrados após 81 dias de cultivo *in vitro*. Mostraram que, para a variável comprimento da parte aérea (CPA), apresentados na figura 4 (A), indicam as plântulas cultivadas em meio MS sem sacarose apresentaram média de 36,36 mm, enquanto aquelas cultivadas em meio MS acrescido de sacarose apresentaram média de 37,75 mm sem diferença estatística.

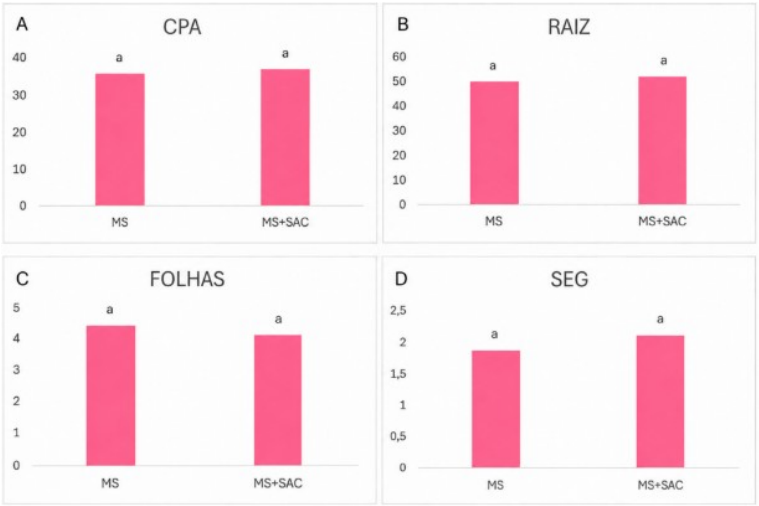
Para a variável comprimento das raízes, apresentada na Figura 4 (B), as plântulas cultivadas em meio MS apresentaram média de 49,30 mm, enquanto o meio MS acrescido de sacarose apresentou média de 52,06 mm. Apesar da maior média observada no tratamento com sacarose, os resultados não apresentaram diferença estatística entre os meios de cultura.

Em relação ao número de folhas, apresentado na Figura 4 (C), o meio MS apresentou média de 4,41 folhas, enquanto o meio MS acrescido de sacarose apresentou média de 4,16 folhas. Assim como na variável anterior, não foi observada diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos.

A avaliação do número de segmentos, apresentada na Figura 4 (D), também não indicou diferença estatística entre os meios de cultura. As plântulas cultivadas em meio MS apresentaram média de 1,91 segmentos, enquanto aquelas cultivadas em meio MS acrescido de sacarose apresentaram média de 2,08 segmentos.

De modo geral, apesar das diferenças numéricas entre os tratamentos, os meios MS e MS acrescido de sacarose não diferiram estatisticamente aos 81 dias de cultivo.

Figura 4 – Gráfico de crescimento e desenvolvimento *In vitro* do café em luz LED rosa.



Legenda: A - Comprimento de parte aérea (mm), B - Comprimento de raiz (mm), C - Número de folhas, D - Número de segmentos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Shapiro-Wilk (P<0,05) Fonte: Próprio autor (2026).

Discussão

Os resultados obtidos mostraram que ambos os meios de cultura permitiram a germinação e o desenvolvimento *in vitro* inicial das plântulas de *Coffea arabica* cv. Arara sob iluminação por LED rosa. Foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos, com maiores valores de comprimento da parte aérea, comprimento das raízes e número de segmentos no meio de cultura acrescido de sacarose, enquanto o meio sem sacarose apresentou maior média no número de folhas. Entretanto, as diferenças não foram estatisticamente significativas, indicando que a sacarose não foi determinante para o desenvolvimento das características analisadas.

A sacarose estabelece uma importante fonte exógena de carbono nos sistemas de cultivo *in vitro*, fornecendo substrato para o metabolismo energético e contribuindo para os processos relacionados ao crescimento e desenvolvimento vegetal. Além de sua função como fonte de carbono, a sacarose também participa de mecanismos de sinalização que regulam diferentes processos fisiológicos das plantas (Yoon *et al*., 2021). Dessa forma, as maiores médias observadas para algumas características no meio adicionado de sacarose podem estar relacionadas à maior disponibilidade de carbono no ambiente de cultivo. Contudo, demonstrando que os explantes também foram capazes de manter seu desenvolvimento na ausência de sacarose.

No sistema de cultivo adotado, a vedação convencional dos recipientes pode ter limitado as trocas gasosas, reduzindo a entrada de CO_2 necessário à fotossíntese, sobretudo durante o estabelecimento inicial das plântulas. Nesse período, o crescimento dos explantes pode estar associado à utilização das reservas nutritivas presentes na própria semente, incluindo carboidratos, proteínas e lipídios, que são mobilizados para atender às demandas metabólicas do desenvolvimento embrionário até que a capacidade fotossintética das plântulas se torne mais efetiva (Ribeiro *et al*., 2020). Conforme essas reservas endógenas se esgotam ao longo do cultivo, os nutrientes minerais fornecidos pelo meio de cultura assumem papel cada vez mais relevante, complementando a demanda metabólica das plântulas nas etapas seguintes do desenvolvimento *in vitro*.

Segundo Zarei *et al*. (2021), em um estudo conduzido com *Cannabis sativa* L. a condução do cultivo em meio isento de sacarose está associada a benefícios práticos relevantes para sistemas de micropropagação fotoautotrófica, como a redução da contaminação microbiana já que a ausência de carboidrato exógeno limita o substrato disponível para o crescimento de fungos e bactérias além do potencial de diminuir custos de produção em escala. Esses fatores tornam a micropropagação sem sacarose uma estratégia particularmente atrativa para protocolos que visam maior eficiência e sustentabilidade na produção de mudas de *Coffea arabica* cv. Arara.

A combinação de LEDs vermelho e azul, que compõe a luz rosa empregada neste estudo, tem sido associada a respostas morfogênicas positivas em diferentes espécies cultivadas *in vitro*, favorecendo tanto a regeneração de brotos quanto a formação radicular quando comparada a fontes luminosas monocromáticas (Lim *et al*., 2023). Essa propagação entre as faixas de luz parece atuar sobre distintos fotorreceptores vegetais, potencializando processos fisiológicos que isoladamente cada cor de luz não seria capaz de induzir com a mesma intensidade. No presente trabalho, o desenvolvimento consistente das plântulas de *Coffea arabica* cv. Arara ao longo dos 81 dias sob luz rosa reforça essa condição luminosa como uma alternativa eficiente para a micropropagação da cultivar.

As respostas morfofisiológicas de plântulas cultivadas *in vitro*, frente à presença ou ausência de sacarose, tipo de vedação e qualidade da luz, variam conforme a espécie. Para *Coffea arabica* cv. Arara, avaliado sob luz rosa e tampa convencional, não foi constatada diferença estatística entre o meio sem sacarose e o suplementado com sacarose.

Conclusão

Os resultados demonstraram que ambos os tratamentos proporcionaram o desenvolvimento *in vitro* de plântulas de *Coffea arabica* cv. Arara sob iluminação por LED rosa. A adição de sacarose ao meio MS apresentou maiores valores numéricos para o comprimento da parte aérea, comprimento das raízes e número de segmentos aos 81 dias de cultivo. Para o número de folhas, também foram observadas diferenças numéricas entre os tratamentos. Entretanto, não foram notadas diferenças estatísticas para as características avaliadas. Dessa forma, nas condições deste experimento, a ausência de sacarose mostrou-se uma condição viável para o crescimento das plântulas, apresentando

potencial para a redução dos custos do cultivo *in vitro* sem comprometer significativamente o desenvolvimento inicial da cultivar Arara.

Referências

ABDALLA, N.; RASHED, M.; EL-SHARKAWY, G.; *et al*. **An academic and technical overview on plant micropropagation challenges**. *Horticulturae*, v. 8, n. 8, p. 677, 2022. https://doi.org/10.3390/horticulturae8080677 Acesso em: 23 ago. 2026.

AGUILAR, María Elena *et al.* **Somatic embryogenesis of Arabica coffee in temporary immersion culture: Advances, limitations, and perspectives for mass propagation of selected genotypes.** Frontiers in Plant Science, v. 13, p. 994578, 2022. DOI: https://doi.org/10.3389/fpls.2022.994578. Acesso em: 24 ago. 2026.

ALIXANDRE, F. T. *et al.* **Cafeicultura sustentável: boas práticas agrícolas para o café arábica.** Vitória, ES: Incaper, 2020. 48 p. (Incaper, Documentos, 269). Disponível em: https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/123456789/3995/1/cartilha-cafeicultura-sustentavel-Incaper.pdf. Acesso em: 23 ago. 2026.

CARDOSO-MAGAÑA, A. J.; MONTERO-CORTÉS, M. I.; QUI-ZAPATA, J. A.; CHÁVEZ-RODRÍGUEZ, A. M.; MANCILLA-MARGALLI, N. A.; LÓPEZ-VELÁZQUEZ, J. C.; FARIAS-CERVANTES, V. S.; ANDRADE-GONZÁLEZ, I.; RIVERA-RODRÍGUEZ, D. M.; BEJARANO-REBOLLEDO, F. **Effect of Light Quality on the seed Germination and Development of Coffee Seedlings (*Coffea arabica*)**. Plants, v. 13, n. 13, p. 1772, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/plants13131772. Acesso em: 25 ago. 2026.

COELHO, E. G.; BERTARINI, P. L. L.; GOMES, M. S.; AMARAL, L. R.; ZOTARELLI, M. F.; SANTOS, L. D.; SANTANA, R. C. **Physicochemical and Sensory Properties of *Arabica* Coffee Beans of Arara cv. Dried Using Different Methods**. Foods, v. 13, n. 5, p. 642, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/foods13050642. Acesso em: 26 ago. 2026.

FAN, C. *et al.* **Light Quality-Mediated Influence of Morphogenesis in Micropropagated Horticultural Crops: A Comprehensive Overview**. BioMed Research International, v. 2022, p. 4615079, 2022. DOI: https://doi.org/10.1155/2022/4615079. Acesso em: 27 ago. 2026.

LIM, M.-J.; MURTHY, H. N.; SONG, H.-Y.; LEE, S.-Y.; PARK, S.-Y. **Influence of White, Red, Blue, and Combination of LED Lights on In Vitro Multiplication of Shoots, Rooting, and Acclimatization of *Gerbera jamesonii* cv. 'Shy Pink' Plants**. Agronomy, v. 13, n. 9, p. 2216, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy13092216. Acesso em: 28 ago. 2026.

MARIANO, Gustavo Fernandes *et al*. Fotoautotrofia e fotomixotrofia de plantas micropropagadas *in vitro*. In: WERNER, Elias Terra; CAVATTE, Paulo Cezar; BATITUCCI, Maria do Carmo Pimentel (org.). **I Tópicos especiais em biologia vegetal: contribuições do PPGBV/UFES: fisiologia, biodiversidade e conservação de organismos fotossintetizantes**. Campos dos Goytacazes: Encontrografia, 2026. DOI: https://doi.org/10.52695/978-65-5456-195-2 . Acesso em: 29 ago. 2026.

MURASHIGE, T.; SKOOG, F. **A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures**. Physiologia Plantarum, v. 15, n. 3, p. 473-497, 1962. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x. Acesso em: 30 ago. 2026.

NGUYEN, Q. T.; XIAO, Y.; KOZAI, T. **Photoautotrophic micropropagation**. In: KOZAI, T.; NIU, G.; TAKAGAKI, M. (org.). Plant Factory. 2. ed. Cambridge, MA: Academic Press, 2020. p. 333-346. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816691-8.00023-6. Acesso em: 30 ago. 2026.

OLIVEIRA JUNIOR, J. B. de; PESSOA, C. M. P.; SCHERWINSKI-PEREIRA, J. E.; SILVA LOPES, H. da; SILVA COSTA, F. H. da. **A simple, alternative and efficient sealing system to improve natural**

ventilation in culture vessels and the morphophysiological and anatomical quality of *Croton lechleri* (Muell. Arg.) grown in vitro. Biologia, v. 77, p. 2945-2954, 2022. DOI: https://doi.org/10.1007/s11756-022-01140-5. Acesso em: 31 ago. 2026.

RIBEIRO, L. de M. *et al.* **Ultrastructural aspects of metabolic pathways and translocation routes during mobilization of seed reserves in *Acrocomia aculeata* (Arecaceae)**. Brazilian Journal of Botany, v. 43, p. 561-573, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/s40415-020-00622-7. Acesso em: 31 ago. 2026.

VALDÉS, Y. C.; SHUKLA, M. R.; GONZÁLEZ VEGA, M. E.; SAXENA, P. K. **Improved Conservation of Coffee (*Coffea arabica* L.) Germplasm via Micropropagation and Cryopreservation**. Agronomy, v. 11, n. 9, p. 1861, 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy11091861. Acesso em: 31 ago. 2026.

YOON, J.; CHO, L.-H.; TUN, W.; JEON, J.-S.; AN, G. **Sucrose signaling in higher plants**. Plant Science, v. 302, p. 110703, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2020.110703. Acesso em: 30 ago. 2026.

ZAREI, A.; BEHDARVANDI, B.; TAVAKOULI DINANI, E.; MACCARONE, J. **Cannabis sativa L. photoautotrophic micropropagation: a powerful tool for industrial scale in vitro propagation**. In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant, v. 57, p. 932-941, 2021. DOI: https://doi.org/10.1007/s11627-021-10167-3. Acesso em: 31 ago. 2026.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), campus Alegre – ES, junto ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, com financiamento da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Agradecemos também à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio aos projetos de pesquisa aprovados e pelo incentivo ao desenvolvimento científico e tecnológico.