

INFLUÊNCIA DA LUMINOSIDADE E DA SACAROSE NA GERMINAÇÃO DE EMBRIÕES SOMÁTICOS DE *Coffea arabica*

João Paulo de Moraes Oliveira, Francisco Remigio Cano-Macías, Geisiele Silva Martins, Sônia Maria da Silva, Elias Terra Werner, Milene Miranda Praça Fontes.

Universidade Federal do Espírito Santo, Alto Universitário, S/N Guararema, 29500-000 – Alegre - ES, Brasil, joaopaulo.ueg@gmail.com, Frannk_88@hotmail.com, martinsgeisiele@gmail.com, soniamsquimica@gmail.com, elias.werner@ufes.br, mileneufes@gmail.com.

Resumo

A germinação de embriões somáticos é influenciada pela intensidade luminosa, que regula processos fotomorfogenéticos e o metabolismo energético, e pela sacarose, que atua simultaneamente como fonte de carbono e regulador osmótico, modulando o desenvolvimento embrionário *in vitro*. Este estudo avaliou a germinação de embriões somáticos cotiledonar cultivados sob diferentes espectros de luz e concentrações de sacarose. O experimento foi conduzido em delineamento fatorial (3×5), e os dados foram analisados por análise de variância, teste de Tukey e regressão quadrática. A germinação foi influenciada pela luz e pela sacarose, enquanto a interação entre os fatores não foi significativa. O maior percentual de germinação (16,4%) foi observado sob LEDs brancos, com densidade de fluxo de fótons fotossintéticos de $50 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, e a resposta à sacarose seguiu tendência quadrática, atingindo 18,8% na concentração de $75 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$. Esses resultados evidenciam que a intensidade luminosa e a disponibilidade de sacarose são determinantes para germinação dos embriões somáticos, fornecendo subsídios para a otimização de protocolos *in vitro*.

Palavras-chave: Café. Cultura de Tecidos Vegetais. Embriogênese Somática Indireta. Propagação Clonal.

Área do Conhecimento: Ciências Agrárias / Agronomia.

Introdução

O cultivo de café (*Coffea arabica* L.) possui grande importância econômica e social em todo o mundo, sendo o Brasil um dos principais produtores. Essa cultura se destaca não apenas pelo seu valor comercial, mas também por sua relevância na agricultura e na vida de milhões de pessoas que dependem de sua produção (Cardoza *et al.*, 2025; Turco *et al.*, 2023). Nesse contexto, a embriogênese somática surge como uma estratégia biotecnológica eficiente, capaz de regenerar plantas completas a partir de tecidos somáticos. Esse processo permite obter indivíduos geneticamente uniformes, livres de patógenos e com alto potencial de propagação em larga escala, constituindo uma alternativa eficaz (Aga; Khillare, 2017).

A intensidade e a qualidade da luz representam fatores determinantes na germinação de embriões somáticos, uma vez que regulam processos de desenvolvimento e diferenciação que condicionam a regeneração de plântulas viáveis. Durante essa fase crítica, a luz influencia mecanismos fisiológicos como a ativação de rotas metabólicas e o início da fotossíntese, essenciais para a transição dos embriões para emblings funcionais (Varis *et al.*, 2021). Estudos em *Peucedanum japonicum* demonstraram que a indução e o desenvolvimento de embriões somáticos dependem da interação entre o espectro da luz LED e os níveis de ABA, modulando a formação dos embriões e sua conversão em plântulas (Chen *et al.*, 2016).

A contribuição da sacarose, como principal carboidrato disponível, desempenha papel fundamental na germinação de embriões somáticos. Sua presença fornece não apenas os recursos energéticos necessários, mas também contribui para a regulação osmótica, favorecendo a diferenciação e a viabilidade dos embriões (Businge *et al.*, 2013). Em estudos recentes em *Agave angustifolia*, os resultados indicam que a presença de sacarose no meio de cultivo aumenta a indução de calos e a formação de embriões somáticos, funcionando como fonte de carbono e reservas energéticas.

Concentrações de até 70 g L^{-1} favoreceram a diferenciação e o desenvolvimento de embriões cotiledonares, alcançando altas taxas de germinação (90–95%), evidenciando um papel tanto nutricional quanto osmótico na viabilidade e germinação dos embriões (Reyes-Díaz *et al.*, 2018).

O presente estudo tem como objetivo avaliar a influência da intensidade luminosa e da concentração da sacarose na germinação de embriões somáticos de *C. arabica*, para otimizar os protocolos de cultivo *in vitro* e favorecer o avanço científico na propagação da espécie.

Metodologia

Embriões somáticos de *C. arabica* (var. Arábica 185/10 Vermelho), obtidos por embriogênese somática indireta, foram cultivados em meio MS ($4,3 \text{ g L}^{-1}$) suplementado com sacarose (30 g L^{-1}), L-cisteína ($0,04 \text{ g L}^{-1}$), extrato de malte ($0,8 \text{ g L}^{-1}$), caseína hidrolisada ($0,2 \text{ g L}^{-1}$) e benzilaminopurina ($4,44 \text{ μM}$), com pH ajustado para 5,7. O cultivo foi realizado em frascos Erlenmeyer de 125 mL contendo 50 mL de meio, sob agitação orbital (120 rpm) a $24 \pm 2 \text{ °C}$ no escuro.

Embriões em estágio cotiledonar foram coletados e transferidos para meio de germinação composto por sais MS ($4,3 \text{ g L}^{-1}$), ácido giberélico ($5,77 \text{ μM}$) e fitagel ($2,8 \text{ g L}^{-1}$), suplementado com 15, 30, 45, 60 e 70 g L^{-1} de sacarose, com pH ajustado para 5,7. Os cultivos foram mantidos em sala de crescimento a $24 \pm 2 \text{ °C}$ por quatro meses, sob diferentes espectros de luz. O tratamento com luz branca apresentou pico forte no azul (450–470 nm) e emissão ampla do verde ao vermelho (500–700 nm), enquanto a luz rosa teve pico no azul (450–470 nm) e forte emissão no vermelho (660–670 nm). O tratamento combinando branca+rosa consistiu na junção desses dois espectros. A densidade de fluxo de fótons fotossintéticos foi de $50 \text{ μmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para a luz branca e $80 \text{ μmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para os tratamentos rosa e branca+rosa. No final do período experimental, o número de embriões somáticos germinados foi registrado.

O experimento foi conduzido em delineamento fatorial 3×5 (três intensidades de luz $\times$ cinco concentrações de sacarose), com até 16 repetições por tratamento. Os dados de germinação foram avaliados quanto aos pressupostos de normalidade e homogeneidade de variâncias e submetidos à análise de variância. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Adicionalmente, o efeito das concentrações de sacarose sobre a germinação foi analisado por regressão quadrática. Todas as análises estatísticas foram realizadas no *software R* (versão 4.4.1; R Core Team, R Foundation for Statistical Computing, Viena, Áustria).

Resultados

A análise de variância revelou efeito significativo da intensidade luminosa ($p = 0,0094$) e da concentração de sacarose ($p = 0,0012$) sobre a germinação de embriões somáticos de *C. arabica* (Tabela 1). Por outro lado, a interação entre esses fatores não foi significativa ($p = 0,2688$), indicando que a resposta da germinação à intensidade luminosa ocorreu de forma independente da concentração de sacarose, e vice-versa.

Tabela 1 – Análise de variância dos efeitos dos comprimentos de onda de luz, das concentrações de sacarose e de sua interação na germinação de embriões somáticos de *C. arabica*.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F	p-valor
Intensidade luminosa	2	0,551	0,2756	4,796	0,0094 **
Sacarose	4	1,083	0,2707	4,711	0,0012 **
Intensidade luminosa $\times$ Sacarose	8	0,578	0,0723	1,258	0,2688
Resíduo	172	9,884	0,0575		
Total	186	12,096			

GL = graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio. Significância: $p < 0,01$ (**).

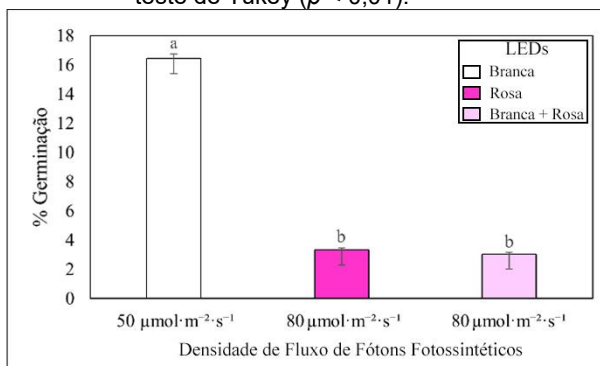
Fonte: elaborado pelo próprio autor (2025).

A germinação de embriões somáticos de *C. arabica* foi significativamente influenciada pela intensidade luminosa (Fig. 1). O percentual máximo de germinação (16,4%) foi observado sob LED branca com densidade de fluxo de fótons fotossintéticos de $50 \text{ μmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Em comparação, LEDs

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

rosa e branca+rosa, com a mesma densidade de fluxo de fótons ($80 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), resultaram em germinação de 3,3% e 3,0%, respectivamente.

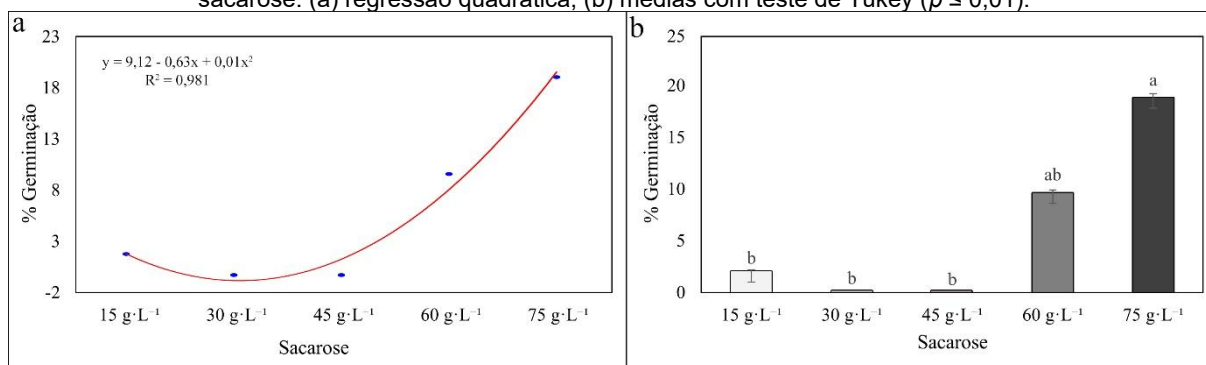
Figura 1 – Percentual de germinação de embriões somáticos de *C. arabica* expostos a diferentes intensidades de luz. Letras distintas indicam diferenças significativas entre os tratamentos, determinadas pelo teste de Tukey ($p < 0,01$).



Fonte: elaborado pelo próprio autor (2025).

A germinação de embriões somáticos de *C. arabica* apresentou resposta dependente da concentração de sacarose no meio de cultivo (Figura 2). O ajuste de regressão quadrática ($y = 9,12 - 0,63x + 0,01x^2$; $R^2 = 0,981$) evidenciou tendência de aumento progressivo da germinação com o incremento da concentração de sacarose (Fig. 2a). As concentrações de 15, 30 e 45 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ resultaram em percentuais de germinação de 2,0%, 0,0% e 0,0%, respectivamente, sem diferença significativa entre si, enquanto 75 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ apresentou o maior percentual de germinação (18,8%). A concentração de 60 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ apresentou valor intermediário (9,6%), sem diferença estatística em relação às menores ou à maior concentração testada (Fig. 2b).

Figura 2 – Percentual de germinação de embriões somáticos de *C. arabica* em diferentes concentrações de sacarose: (a) regressão quadrática; (b) médias com teste de Tukey ($p \leq 0,01$).



Fonte: elaborado pelo próprio autor (2025).

Discussão

A germinação de embriões somáticos de *C. arabica* foi significativamente influenciada pela intensidade luminosa, alcançando o maior percentual (16,4%) sob luz de LEDs brancos (400–700 nm) com densidade de fluxo de fótons fotossintéticos de $50 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Esses resultados corroboram Almeida *et al.* (2019), que destacaram que a qualidade da luz, especialmente LEDs com componentes azuis, favorece o desenvolvimento embrionário ao modular processos como metabolismo energético, transporte intracelular e homeostase de auxinas. Parte do efeito positivo observado sob LEDs branca pode ser atribuída à presença do componente azul (450–470 nm), que forneceu estímulos energéticos e hormonais adequados, promovendo a germinação de embriões somáticos.

A menor germinação observada sob luz rosa e branca+rosa pode estar relacionada ao desequilíbrio entre os comprimentos de onda vermelho (620–670 nm) e azul (450–470 nm) emitidos por esses LEDs. Embora a combinação de azul e vermelho seja frequentemente utilizada para cultivo de plantas, a

predominância do vermelho pode reduzir a resposta positiva promovida pelo azul (Oh et al., 2007). O excesso de vermelho ativa fitocromos, favorecendo alongamento celular e respostas associadas ao crescimento vegetativo, mas não necessariamente à germinação embrionária (Oh et al., 2007; Piskurewicz et al. 2009). Além disso, o vermelho isolado ou em excesso pode antagonizar efeitos regulatórios da luz azul, resultando em embriões com menor qualidade morfológica e viabilidade reduzida (Piskurewicz et al. 2009). Dessa forma, o desempenho inferior da luz rosa e da combinação branca+rosa sugere que, para a germinação somática em café, estímulos concentrados na faixa azul são mais eficientes que combinações espectrais amplas dominadas pelo vermelho. Consequentemente, a densidade de fluxo de fótons fotossintéticos de $80 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ não favoreceu a germinação dos embriões somáticos de *C. arabica*.

Quanto à influência da sacarose, observou-se que os embriões somáticos de *C. arabica* responderam de forma quadrática, com maior germinação em concentrações elevadas. Concentrações de 15, 30 e 45 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ resultaram em germinação muito baixa ou nula (2,0 %, 0,0 % e 0,0 %, respectivamente), enquanto 60 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ apresentou valor intermediário (9,6 %) e 75 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ o maior percentual (18,8 %). Esses resultados indicam que níveis baixos de sacarose não suprem as exigências metabólicas dos embriões, ao passo que concentrações elevadas favorecem a formação de reservas essenciais para a germinação. Riviello-Cogco et al. (2021) observaram comportamento semelhante em *C. arabica* var. Colombia, destacando que 50–80 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ de sacarose aumentam significativamente a maturação e a germinação por atuarem como fonte de carbono e regulador osmótico, promovendo acúmulo de açúcares, amido e proteínas de reserva.

Conclusão

A germinação de embriões somáticos de *C. arabica* depende de condições específicas de luz e sacarose. A intensidade luminosa exerce influência significativa de forma independente da concentração de sacarose, sendo que a densidade de fluxo de fótons fotossintéticos de $50 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ favorece a germinação. De maneira semelhante, a suplementação com 75 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ de sacarose promove maior germinação, proporcionando o melhor desempenho. Portanto, a otimização da germinação depende do ajuste combinado da intensidade luminosa e da concentração de sacarose.

Referências

- AGA, E.; KHILLARE, Y. In vitro multiplication of *Coffea arabica* L. from leaf explants through indirect somatic embryogenesis. **International Journal of Botany Studies**, v. 2, p. 17–22, 2017.
- ALMEIDA, F.; VALE, E.; REIS, R.; SANTA-CATARINA, C.; SILVEIRA, V. LED lamps enhance somatic embryo maturation in association with the differential accumulation of proteins in the *Carica papaya* L. “Golden” embryogenic callus. **Plant physiology and biochemistry**, v. 143, p. 109–118, 2019. DOI: [10.1016/j.plaphy.2019.08.029](https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.08.029).
- BUSINGE, E.; BYGDELL, J.; WINGSLE, G.; MORITZ, T.; EGERTSDOTTER, U. The effect of carbohydrates and osmoticum on storage reserve accumulation and germination of Norway spruce somatic embryos. **Physiologia Plantarum**, v. 149, p. 273–285, 2013. DOI: [10.1111/ppl.12039](https://doi.org/10.1111/ppl.12039).
- CARDOZA, A.; QUESQUÉN, J.; BLAS, L.; MEZA, R.; GUERRERO, J.; OCMÍN, J.; CARDOZA, A.; QUESQUÉN, J.; BLAS, L.; MEZA, R.; GUERRERO, J.; OCMÍN, J. Mejoramiento genético en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.): Avances metodológicos y propuesta de aplicación utilizando métodos tradicionales y herramientas biotecnológicas. **Scientia Agropecuaria**, v. 16, p. 457–468, 2025. DOI: [10.17268/sci.agropecu.2025.035](https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2025.035).
- CHEN, C.; AGRAWAL, D.; LEE, M.; LEE, R.; KUO, C.; WU, C.; TSAY, H.; CHANG, H. Influence of LED light spectra on in vitro somatic embryogenesis and LC–MS analysis of chlorogenic acid and rutin in *Peucedanum japonicum* Thunb.: a medicinal herb. **Botanical Studies**, v. 57, p. 9, 2016. DOI: [10.1186/s40529-016-0124-z](https://doi.org/10.1186/s40529-016-0124-z).

OH, E.; YAMAGUCHI, S.; HU, J.; YUSUKE, J.; JUNG, B.; PAIK, I.; LEE, HS.; SUN, TP.; KAMIYA, Y.; CHOI, G. PIL5, a phytochrome-interacting bHLH protein, regulates gibberellin responsiveness by binding directly to the GAI and RGA promoters in Arabidopsis seeds. **Plant Cell**, v. 19, p. 1192–1208, 2007. DOI: [10.1105/tpc.107.050153](https://doi.org/10.1105/tpc.107.050153)

PISKUREWICZ, U.; TUREČKOVÁ, V.; LACOMBE, E.; LOPEZ-MOLINA, L. Far-red light inhibits germination through DELLA-dependent stimulation of ABA synthesis and ABI3 activity. **The EMBO Journal**, v. 28, n. 15, p. 2259-2271, 2009.

REYES-DÍAZ, J.; ARZATE-FERNÁNDEZ, A.; PIÑA-ESCUZIA, J.; REYES-DÍAZ, J.; ARZATE-FERNÁNDEZ, A.; PIÑA-ESCUZIA, J. Fuentes de sacarosa y nitrógeno orgánico influyen en la embriogénesis somática de *Agave angustifolia*. **Revista mexicana de ciencias agrícolas**, v. 9, p. 1508–1513, 2018. DOI: [10.29312/remexca.v9i7.1676](https://doi.org/10.29312/remexca.v9i7.1676).

RIVIELLO-COGCO, E.; ROBLEDO-PAZ, A.; GUTIÉRREZ-ESPINOSA, M.; SUÁREZ-ESPINOSA, J.; MASCORRO-GALLARDO, J. Maduración y germinación de embriones somáticos de *Coffea arabica* cv. Colombia. **Revista fitotecnia mexicana**, v. 44, p. 161–171, 2021. DOI: [10.35196/rfm.2021.2.161](https://doi.org/10.35196/rfm.2021.2.161).

TURCO, P.; MARTINS, A.; FIRETTI, R.; PINATTI, E.; ALVES, A.; POLIS, K. Custos e lucratividade de *Coffea arabica* L. (cv. Catuaí IAC 144 e IAPAR 59) para a microrregião de Marília, São Paulo, Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 61, p. e276484, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2023.276484>.

VARIS, S.; TIKKINEN, M.; VÄLIMÄKI, S.; ARONEN, T. Light Spectra during Somatic Embryogenesis of Norway Spruce—Impact on Growth, Embryo Productivity, and Embling Survival. **Forests**, v. 12, p. 301, 2021. DOI: [10.3390/f12030301](https://doi.org/10.3390/f12030301).

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento da UFES/Alegre e ao Laboratório de Citogenética e Cultura de Tecidos Vegetais da UFES/Alegre pelo apoio financeiro, infraestrutura e recursos fornecidos para a realização deste estudo.