



## Micropropagação de *Arthrocerus glaziovii* (K.Schum.) N. P. Taylor & Zappi: uma espécie em perigo de extinção da Fitofisionomia Campo Rupestre Ferruginoso

Douglas Machado LEITE <sup>1</sup> , Julia Quaresma Siqueira FARIA <sup>1</sup> ,  
Fabíola Magalhães MENDES <sup>1</sup> , Gilvano Ebling BRONDANI <sup>\*1</sup> 

<sup>1</sup> Laboratório de Cultivo *in vitro* de Espécies Florestais, Departamento de Ciências Florestais, Escola de Ciências Agrárias de Lavras, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil.

\*E-mail: [gilvano.brondani@ufla.br](mailto:gilvano.brondani@ufla.br)

Submetido em: 16/10/2024; Aceito em: 09/08/2025; Publicado em: 19/08/2025.

**RESUMO:** *Arthrocerus glaziovii* é uma cactácea nativa brasileira, com ocorrência restrita em afloramentos rochosos. A espécie corre risco de extinção e apresenta elevada demanda para a recuperação de áreas degradadas da Fitofisionomia Campo Rupestre Ferruginoso. O objetivo desse trabalho foi estabelecer um protocolo para a micropropagação de *A. glaziovii*, testando a assepsia seminal conforme diferentes tempos de exposição ao cloro ativo e a multiplicação *in vitro* sob diferentes fontes de carbono, meio de cultivo, posições de seccionamento do explante e presença ou ausência de luminosidade. Os experimentos foram conduzidos na fase de inoculação e multiplicação. A assepsia apresentou os melhores resultados no tempo de 5 minutos de exposição ao cloro ativo. Quanto à fonte de carboidrato, a presença de sacarose favoreceu o crescimento da parte aérea das plantas. As posições de seccionamento mediana e superior favoreceram o surgimento de raízes e brotos, enquanto que a posição inferior favoreceu apenas a formação de brotos, e a presença de luminosidade resultou nas melhores respostas. A metodologia adotada na aclimatização foi excelente, com 96% de sobrevivência das plantas.

**Palavras-chave:** cultivo *in vitro*; Canga; Cactaceae; espécie endêmica.

## Micropropagation of *Arthrocerus glaziovii* (K.Schum.) N.P.Taylor & Zappi: an endangered species of Rupestrian Ferruginous Fields Fitophysionomy

**Abstract:** *Arthrocerus glaziovii* is a native Brazilian cactus, restricted to rocky outcrops. The species is at risk of extinction and has high potential for restoration of degraded areas of the Rupestrian Ferruginous Fields Phytophysionomy. The objective of this study was to establish a micropropagation protocol for *A. glaziovii*, testing seed exposure to active chlorine at various times, *in vitro* multiplication under different carbon sources, and the effects of growing medium, explant sectioning positions, and the presence or absence of light. The experiments were conducted in the introduction and multiplication stages. The asepsis presented the best results at 5 minutes of exposure to chlorine. Regarding the carbon source, the presence of sucrose favored the growth of the aerial parts of the plants. The median and upper sectioning positions favored the emergence of roots and shoots, while the lower position favored only shoot formation. The presence of light resulted in the best responses. The acclimatization methodology employed was effective, resulting in a 96% survival rate among the plants.

**Keywords:** *in vitro* culture; Canga; Cactaceae; endemic species.

### 1. INTRODUÇÃO

*Arthrocerus glaziovii* (K.Schum.) NPTaylor & Zappi é uma cactácea brasileira, endêmica do estado de Minas Gerais e de ocorrência exclusiva em afloramentos hematíticos (canga), cujo ambiente possui diferentes micro-habitats, dentro de fitofisionomias distintas, variando desde formações campestres até formações florestais (SKIRYCZ et al., 2014). A espécie está categorizada como em perigo de extinção (ZAPPI; TAYLOR, 2024).

Os recursos que fazem parte da estratégia reprodutiva da espécie, como néctar, pólen e frutos, são consumidos por diversos animais como abelhas, mariposas, besouros, vespas,

formigas, gafanhotos, beija-flores, morcegos, pássaros, entre outros. Isso auxilia na polinização entre os indivíduos e na dispersão das sementes e propágulos da espécie (JUNGHANS; SOUZA, 2009; NYFFELER; EGGLI, 2010; ZAPPI; TAYLOR, 2024).

Apresenta adaptações em condições de estresse hídrico, solos ácidos e pobres em nutrientes, alto teor de metais pesados e alumínio, alta concentração de ferro oxidado, grandes amplitudes térmicas diárias e incidência frequente de fogo. Contudo, há constante pressão por meio de ações antrópicas, sobre as populações restantes (normalmente muito pequenas), com tendência de decréscimo. Existe

também a pressão da expansão urbana, com efeito sobre seus polinizadores e dispersores, o que pode fragilizar a manutenção natural da espécie (JACOBI et al., 2007; LÓPEZ; VALDIVIA, 2007).

Em complemento à importância ecológica, *A. glaziovii* também é considerada uma espécie com potencial para ser usada na recuperação dos Campos Rupestres Ferruginosos, logo, o processo de produção de mudas se torna importante, visando aplicações relacionadas à recuperação/restauração de áreas degradadas. Ademais, as sementes dessa espécie são classificadas como fotoblásticas positivas, apresentando germinação lenta e irregular na faixa ótima de 20 a 30 °C, o que pode dificultar o processo de produção de mudas seminais. Dessa forma, a micropropagação se constitui como uma importante ferramenta para se obter maior quantidade e uniformidade em relação à produção de mudas (SKIRYCZ et al., 2014; GOETTSCHE et al., 2015).

A micropropagação é uma alternativa para a multiplicação e conservação de recursos genéticos quando a utilização de sementes é dificultada, pois a técnica permite obter milhares de plantas em área reduzida a partir de poucos tecidos meristemáticos, com uma menor incidência de doenças, independentemente do clima e da época do ano (THAKUR; KARNOSKY, 2007; LEITE et al., 2024).

O sucesso da micropropagação depende de uma série de fatores, dentre os quais estão os componentes nutricionais do meio, fitorreguladores empregados, fatores genéticos, contaminação por microrganismos e período de cultivo *in vitro*, que são alguns dos mais importantes (BARBOSA et al., 2021; SILVA et al., 2021). A fonte de carboidrato é um componente do meio de cultura que afeta diretamente o crescimento, sendo necessária para atividades metabólicas e a vários processos que envolvem o crescimento celular. Cada planta possui exigência específica e, conhecê-la, pode-se fornecer melhores respostas morfofisiológicas ao longo do cultivo (LEIFERT et al., 1995; BARBOSA et al., 2021).

Assim como as condições nutricionais, a iluminação empregada no cultivo *in vitro* também pode resultar em diferentes respostas, a depender do espectro luminoso e da intensidade utilizada, ou até mesmo da ausência, uma vez que regulam o crescimento vegetal atuando na fisiologia do explante *in vitro* (HUNG et al., 2015). Outro fator que pode afetar o cultivo *in vitro* é a posição dos tecidos, pois a concentração de reguladores endógenos induz as diferentes respostas morfogênicas, seja o maior número de brotos, de alongamento, ou até, o enraizamento dos tecidos (ABO EL-ENIEN; OMAR, 2018; ESQUIVEL et al., 2024).

Portanto, o objetivo desse trabalho foi desenvolver um protocolo para a micropropagação de *Arthrocerus glaziovii*, visando o estabelecimento e a multiplicação *in vitro* sob tempos de exposição ao cloro ativo, fontes de carbono, meio de cultivo, posição do explante e efeito da luminosidade.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Origem do material vegetal

Foram utilizadas sementes de plantas selvagens de *Arthrocerus glaziovii* coletadas no Campo Rupestre Ferruginoso, na Unidade de Pesquisa e Inovação pertencente à Gerdau, localizada em Ouro Branco, Minas Gerais, Brasil (Registro SisGen: ACF88E2 e A3E1127).

### 2.2. Germinação *in vitro*

As sementes foram lavadas em água corrente por cinco minutos, em seguida, imersas em solução de hipoclorito de

sódio (NaOCl) na concentração de cloro ativo de 2,0-2,5% (v/v) Clarix®, durante 5, 10 e 15 minutos. Transcorrido o tempo de imersão, as sementes foram lavadas em água deionizada e autoclavadas, por cinco vezes, sendo inoculadas sob condições assépticas em tubos de ensaio (25 × 150 mm) contendo 10 mL do meio de cultura MS (MURASHIGE; SKOOG, 1962).

O meio de cultura foi suplementado com 30 g L<sup>-1</sup> de sacarose (Synth Ltda), 6 g L<sup>-1</sup> de ágar (Merck S.A.) e 0,05 g L<sup>-1</sup> de carvão ativado (Synth Ltda). O pH do meio de cultura foi ajustado para 5,8 ± 0,05 previamente à adição do ágar. A autoclavagem do meio de cultura foi realizada à temperatura de 121°C e pressão de 1,0 kgf cm<sup>-2</sup>, durante 20 minutos.

As sementes foram cultivadas em sala de crescimento a uma temperatura de 24 ± 1°C, fotoperíodo de 16 horas e irradiância de 40 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, quantificada por radiômetro (LI-COR®, LI-250A Light Meter) em lâmpada fluorescente branca fria. Aos 30 dias, foram avaliadas a porcentagem de germinação, a oxidação de tecidos e a contaminação fúngica e/ou bacteriana.

### 2.3. Multiplicação *in vitro*

As plântulas consideradas estabelecidas na fase de germinação *in vitro* foram segmentadas e padronizadas em 0,5 cm de comprimento e inoculadas em tubos de ensaio (25 × 150 mm) contendo 10 mL do meio de cultura MS, suplementado com 30 g L<sup>-1</sup> de sacarose, 6 g L<sup>-1</sup> de ágar, 0,5 mg L<sup>-1</sup> de 6-benzilaminopurina (BAP – Sigma®) e 0,05 mg L<sup>-1</sup> de ácido α-naftalenoacético (ANA – Sigma®), variando de acordo com cada experimento, com subcultivos realizados a cada 30 dias. Foram realizados três experimentos durante a fase de multiplicação *in vitro*, sendo:

#### 2.3.1. Efeito do meio de cultura e concentração de BAP

O primeiro experimento foi conduzido em sistema bifatorial (2x2), avaliando dois meios de cultura MS (30 g L<sup>-1</sup> de sacarose), WPM (20 g L<sup>-1</sup> de sacarose) (LLOYD; MCCOWN, 1980) e duas concentrações de BAP, 0,5 e 1,0 mg L<sup>-1</sup>, totalizando quatro tratamentos com 15 repetições. O meio de cultura de todos os tratamentos foi suplementado com 0,05 mg L<sup>-1</sup> de ANA. O subcultivo foi realizado a cada 40 dias e aos 85 dias foram avaliados: porcentagem de sobrevivência, número de brotações, número de raízes e comprimento da parte aérea (mm).

#### 2.3.2. Efeito da fonte de carboidrato

O segundo experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, avaliando duas fontes de carboidrato (15 g L<sup>-1</sup> de sacarose e 15 g L<sup>-1</sup> de glicose), em que cada tratamento foi utilizado em 38 repetições. Foi utilizado o meio WPM, suplementado com 6 g L<sup>-1</sup> de ágar, 200 mg L<sup>-1</sup> de carvão ativado, 0,5 mg L<sup>-1</sup> de BAP e 0,05 mg L<sup>-1</sup> de ANA. O subcultivo foi realizado a cada 40 dias e aos 54 dias, foram avaliados a porcentagem de sobrevivência, o número de brotações, o número de raízes e o comprimento da parte aérea (mm).

#### 2.3.3. Efeito da fonte de carboidrato, presença de luminosidade e posição do explante

O terceiro experimento foi conduzido em sistema trifatorial (2x2x3), avaliando duas fontes de carboidrato (15 g L<sup>-1</sup> de sacarose e 15 g L<sup>-1</sup> de glicose), presença e ausência de luminosidade e três posições de seccionamento do explante (basal, mediana e superior), totalizando 12 tratamentos com

cinco repetições de cada tratamento. O meio de cultura utilizado foi o WPM, suplementado com 6 g L<sup>-1</sup> de ágar, 200 mg L<sup>-1</sup> de carvão ativado, 1 mg L<sup>-1</sup> de BAP e 0,10 mg L<sup>-1</sup> de ANA. O subcultivo foi realizado a cada 40 dias e após 54 dias foi avaliado, porcentagem de sobrevivência, número de brotações, número de raízes e comprimento da maior raiz (mm).

#### 2.4. Aclimatização

As plântulas enraizadas *in vitro* foram plantadas em copos de polietileno contendo substrato comercial à base de casca de Pinus decomposta e vermiculita fina na proporção 1:1 v/v, os quais foram vedados com plástico filme, formando um sistema mini-estufim com adaptações (LEITE et al., 2024). Aos sete dias, o plástico foi removido totalmente e, aos 28 dias, foi avaliada a sobrevivência das plantas.

#### 2.5. Análise de dados

Em todos os experimentos, os dados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk ( $P > 0,05$ ), para verificação de normalidade, ao teste de Bartlett ( $P > 0,05$ ), para avaliar a homogeneidade de variância, e ao teste Box-Cox, para transformação de dados. Tais dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA,  $P < 0,05$ ) e os valores médios foram submetidos à análise de comparação de médias pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). Para a variável sobrevivência foi feita análise descritiva. Foram utilizados os *softwares* R (R CORE TEAM, 2022) e RStudio com auxílio dos pacotes *easynova* (ARNHOLD, 2013).

### 3. RESULTADOS

Não houve diferença entre os tratamentos na fase de estabelecimento *in vitro* das sementes. Apenas o tratamento com 5 minutos de exposição apresentou contaminação fúngica, resultando na morte de uma semente inoculada, representando menos de 0,5% de contaminação.

No primeiro experimento de multiplicação (2.3.1), foi testado o efeito dos meios de cultura WPM e MS em duas concentrações de BAP (0,5 e 1,0 mg L<sup>-1</sup>) a fim de observar diferentes respostas morfogênicas. Das variáveis avaliadas, apenas o número de raízes (Figura 1) foi significativo, sendo que os maiores valores foram observados para 0,5 mg L<sup>-1</sup> de BAP. Além disso, nessa mesma concentração, o meio de cultura MS diferiu do meio WPM, mostrando maior média no número de raízes.

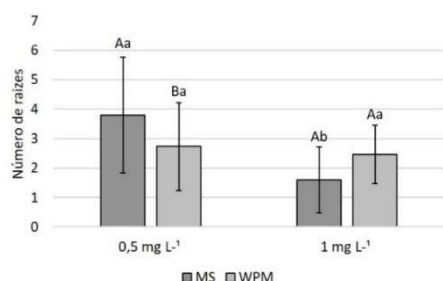


Figura 1. Valores médios do número de raízes de explantes de *Arthrocereus glaziovii* em relação ao meio de cultura (MS e WPM) e concentrações de BAP (0,5 e 1,0 mg L<sup>-1</sup>). Valores médios seguidos pela mesma letra maiúscula na concentração de BAP e pela letra minúscula do meio de cultivo utilizado não diferem entre si. As barras representam o erro padrão da amostra.

Figure 1. Mean values of the number of roots of *Arthrocereus glaziovii* explants about the culture medium (MS and WPM) and BAP concentrations (0.5 and 1.0 mg L<sup>-1</sup>). Mean values followed by the

same uppercase letter for BAP concentration and a lowercase letter for culture medium used do not differ from each other. Bars represent the sample standard error.

No segundo experimento de multiplicação, foram testadas duas fontes de carboidrato (sacarose e glicose) no meio de cultura. Dentre as variáveis estudadas, somente o comprimento da parte aérea apresentou diferença entre os tratamentos, sendo o meio de cultura suplementado com sacarose o que apresentou a maior média (Figura 2).

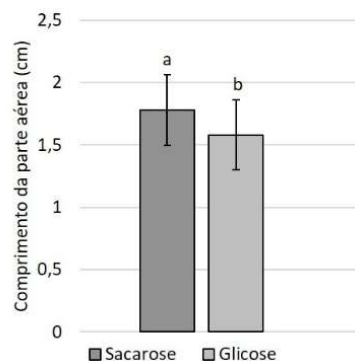


Figura 2. Valores médios do comprimento da parte aérea (cm) de explantes de *Arthrocereus glaziovii* em relação a fonte de carboidrato (15 g L<sup>-1</sup> de sacarose e 15 g L<sup>-1</sup> de glicose). Valores médios seguidos por mesma letra não diferem entre si. As barras representam o erro padrão da amostra.

Figure 2. Mean values of shoot length (cm) of *Arthrocereus glaziovii* explants about the carbon source (15 g L<sup>-1</sup> of sucrose and 15 g L<sup>-1</sup> of glucose). Mean values followed by the same letter do not differ from each other. Bars represent the sample standard error.

No terceiro experimento de multiplicação, foram testadas duas fontes de carboidrato (sacarose e glicose), presença e ausência de luminosidade e três posições de seccionamento do explante (basal, mediana e superior). Dentre as variáveis avaliadas, três apresentaram resultados significativos entre os tratamentos, sendo elas o comprimento da maior raiz, o número de raízes e o número de brotações (Figuras 3A, 3B e 3C).

Para a variável o comprimento da maior raiz, os maiores valores foram observados para explantes da porção mediana e superior considerando o uso de glicose e na presença de luminosidade (Figura 3A). Para a variável número de raízes, também nos tratamentos com uso de glicose e na presença de luminosidade, foi possível observar maior número de raízes, com destaque ao explante da porção superior (Figura 3B).

A luminosidade favoreceu o número de brotações, porém, as porções inferiores e mediana produziram maior número de brotações, com a porção mediana se destacando na presença de sacarose (Figura 3C). A aclimatização se mostrou eficiente com o uso do sistema de mini-estufim, onde houve 96% de sobrevivência das plantas aclimatizadas com a presença de raízes (Figuras 4A-D).

### 4. DISCUSSÃO

As espécies vegetais possuem diversas estratégias de sobrevivência e propagação. Enquanto umas investem em quantidade de sementes, o que em alguns casos com baixa viabilidade, outras produzem pequenas quantidades, contudo, com alta viabilidade e percentual de germinação (LEITE et al., 2024).



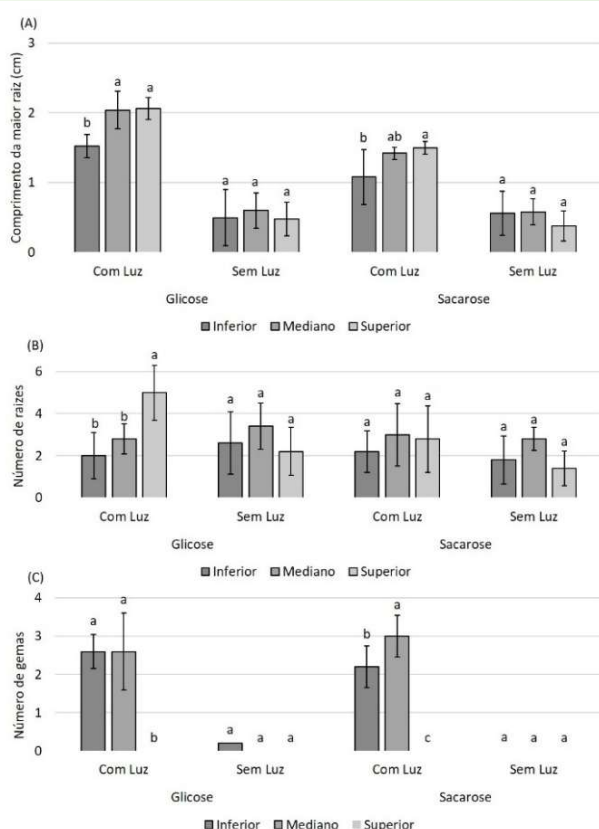


Figura 3. Características de explantes de *Arthrocerus glaziovii* em relação à fonte de carboidrato (15 g L<sup>-1</sup> de sacarose e 15 g L<sup>-1</sup> de glicose), luminosidade (presença e ausência) e posição do explante (basal, mediana e superior). (A) Valores médios do comprimento da maior raiz (cm), (B) número de raízes e (C) número de gemas. Valores médios seguidos por mesma letra para a posição do explante não diferem entre si. As barras representam o erro padrão da amostra.

Figure 3. Features of *Arthrocerus glaziovii* explants about the carbon source, light (presence or absence), and explant position (basal, median and superior). (A) Mean values of the longest root length (cm), (B) number of roots, and (C) number of buds. Mean values followed by the same letter for explant position do not differ from each other. Bars represent the sample standard error.

Em alguns casos, a presença de microrganismos endógenos à semente pode dificultar os processos de assepsia. Além disso, tais microrganismos podem consumir os nutrientes do meio de cultura, competindo com os tecidos das sementes no decorrer do tempo, ocasionando problemas quanto ao estabelecimento *in vitro* (LAZAROTTO et al., 2012; MAZAROTTO et al., 2023), esse fato não foi visto para a espécie em estudo pois foi possível alcançar mais de 99% de germinação e estabelecimento de plantas.

O meio de cultura MS se destaca pela maior quantidade de nitrogênio oferecido para o material cultivado e, de forma geral, apresenta resultados adequados para a propagação de espécies vegetais, podendo resultar em maior crescimento dos tecidos (PORFÍRIO et al., 2019), como reportado nesse estudo para o número de raízes quando suplementado com 0,5 mg L<sup>-1</sup> de BAP. Em trabalhos com *Liquidambar styraciflua*, o cultivo em meio de cultura MS proporcionou maior comprimento das brotações emitidas (WENDLING et al., 2010), refletindo em respostas similares ao presente estudo, assim como aumento na massa fresca das brotações produzidas comparado ao meio WPM.

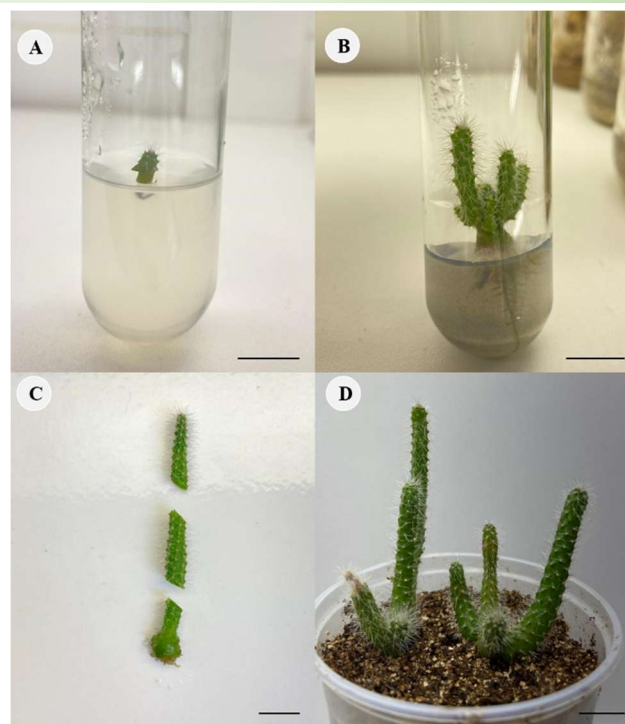


Figura 4. Etapas do protocolo de micropropagação de *Arthrocerus glaziovii*. (A) germinação aos 10 dias de inoculação, (B) multiplicação com diferentes fontes de carboidrato aos 40 dias de cultivo, (C) segmentação para multiplicação e (D) aclimatização aos 30 dias das plantas produzidas. Barra: 1 cm.

Figure 4. Stages of the micropropagation protocol of *Arthrocerus glaziovii*. (A) germination at 10 days after inoculation, (B) multiplication with different carbon sources at 40 days of cultivation, (C) segmentation for multiplication, and (D) acclimatization of produced plants at 30 days. Bar: 1 cm.

O maior número de raízes foi verificado na concentração mais baixa de BAP, uma vez que menores concentrações do regulador não inibem a formação e alongamento das raízes, de forma que valores superiores a 0,5 mg L<sup>-1</sup> podem favorecer o surgimento de gemas, como reportado no cultivo *in vitro* de *Dimorphandra mollis* (MOLINARI et al., 2021).

A fonte de carbono do meio pode resultar em diferentes respostas do crescimento dos tecidos. A sacarose, por exemplo, é um carboidrato que auxilia nos processos morfogênicos, visto que fornece carbono para o crescimento celular. Assim, a adição de sacarose ao cultivo *in vitro* pode estimular o incremento de massa na parte aérea, favorecendo o crescimento como visualizado nesse estudo e semelhante ao encontrado para *Ocimum selloi* (MONFORT et al., 2015), ou até mesmo maximizar a germinação, como elucidado em trabalhos com *Cannabis sativa* (HESAMI et al., 2021).

Por sua vez, a glicose pode atuar retardando alguns processos fisiológicos, como ilustrado em plantas de trigo, onde o florescimento foi atrasado (YAO et al., 2017). No presente estudo, no entanto, a presença da glicose favoreceu o crescimento da raiz, o número de raízes e o número de brotos quando cultivados segmentos de *Arthrocerus glaziovii*.

A variação endógena de fitoreguladores e as respostas morfoanatômicas podem variar conforme a parte utilizada para a multiplicação, assim como visto em cladódios de pitaya (*Selenicereus setaceus* Rizz.), a região basal e o cladódio inteiro apresentaram maior quantidade de brotações (RUTHS et al., 2021). Contudo, nesse estudo, a porção mediana e superior apresentou as melhores respostas, em que podemos destacar

que os fatores intrínsecos ao material favoreceram o crescimento de novas raízes e brotos.

A presença de luminosidade se mostrou indispensável para a micropropagação da espécie, por ocorrer naturalmente sob sol pleno, eram esperadas respostas positivas quanto à luminosidade, assim como vários indivíduos da família em situações de ausência de luz podem inibir a germinação e reduzir o crescimento da espécie (MARCHI et al., 2022; SILVA et al., 2022). A técnica adotada na aclimatização das plantas completas se mostrou efetiva na produção de mudas, assim como visto para outras espécies que ocorrem no Campo Rupestre (SOUZA et al., 2023; LEITE et al., 2024).

## 5. CONCLUSÕES

Não houve diferença significativa entre os tratamentos de assepsia seminal, podendo ser utilizado o menor tempo de exposição a fim de otimizar a introdução e germinação *in vitro*.

A presença de sacarose favoreceu o crescimento da parte aérea das plantas.

As posições do explante mediana e superior favoreceram o surgimento de raízes e brotos, enquanto que a posição inferior favoreceu apenas a formação de brotos.

A presença de luminosidade foi essencial para o cultivo *in vitro* da espécie, sendo altamente dependente.

A aclimatização foi eficiente, permitindo produzir muda micropropagada para fase de rustificação aos 90 dias.

## 6. REFERÊNCIAS

- ABO EL-ENIEN, H. E.; OMAR, M. A. Effect of some growth substances on rooting and endogenous hormones of *Casimiroa edulis* L. cuttings. **Zagazig Journal of Agriculture Research**, v. 45, n. 3, p. 891-904, 2018. <http://dx.doi.org/10.21608/zjar.2018.49126>
- ARNHOLD, E. Package in the R environment for analysis of variance and complementary analyses. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 50, n. 6, p. 488-492, 2013. <https://doi.org/10.11606/issn.1678-4456.v50i6p488-492>
- BARBOSA, G. G.; TARGA, V. M. I.; OTONI, W. C.; RONDON, J. N.; COSTA, F. A. *In vitro* culture of zygotic embryo of baru as affected by sealing types and sucrose concentrations. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 4, p. 42390-42408, 2021. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n4-619>
- ESQUIVEL, F.; CASTILLO, A.; BENTANCOR, M.; CEPPA, M.; ROGEL, L.; BONILLA, M.B.; BALMELLI, G.; DALLA-RIZZA, M. Potential of metatopoline in the *in vitro* multiplication and rooting of *Eucalyptus globulus* Labill. clones. *Cerne*, v. 30, n. 1, e-103413, 2024. <https://doi.org/10.1590/01047760202330013413>
- GOETTSCH, B.; HILTON-TAYLOR, C.; CRUZ-PINÓN, G.; et al. High proportion of cactus species threatened with extinction. **Nature Plants**, v. 1, n. 10, p. 1-7, 2015. <https://doi.org/10.1038/nplants.2015.142>
- HESAMI, M.; PEPE, M.; MONTHONY, A. S.; BAITON, A.; JONES, A. M. P. Modeling and optimizing *in vitro* seed germination of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.). **Industrial Crops and Products**, v. 110, e113753, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113753>
- HUNG, C. D.; HONG, C. H.; JUNG, H. B.; KIM, S. K.; VAN KET, N.; NAM, M. W.; CHOI, D.; LEE, H. I. Growth and morphogenesis of encapsulated strawberry shoot tips under mixed LEDs. **Scientia Horticulturae**, v. 194, p. 194-200, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.016>
- JACOBI, C. M.; DO CARMO, F. F.; VINCENT, R. C.; STEHMANN, J. R. Plant communities on ironstone outcrops: a diverse and endangered Brazilian ecosystem. **Biodiversity and Conservation**, v. 16, n. 7, p. 2185-2200, 2007. <https://doi.org/10.1007/s10531-007-9156-8>
- JUNGHANS, T. G.; SOUZA, A. S. da. **Aspectos práticos da micropropagação de plantas**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2009. 385p.
- LAZAROTTO, M.; MUNIZ, M. F. B.; BELTRAME, R.; SANTOS, Á. F. D.; MACIEL, C. G.; LONGHI, S. J. Sanidade, transmissão via semente e patogenicidade de fungos em sementes de *Cedrela fissilis* procedentes da região sul do Brasil. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 3, p. 493-503, 2012. <https://doi.org/10.5902/198050986617>
- LEIFERT, C.; MURPHY, K. P.; LUMSDEN, P. J. Mineral and carbohydrate nutrition of plant cell and tissue cultures. **Critical Reviews in Plant Science**, v. 14, n. 2, p. 83-109, 1995. <https://doi.org/10.1080/07352689509701923>
- LEITE, D. M.; FERNANDES, S. B.; SOUSA, K. I. R.; BRONDANI, G. E. Improvement in the production of micropropagated seedlings of *Paliavana sericiflora* Benth: an endangered species. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 156, a.n. 63, 2024. <https://doi.org/10.1007/s11240-023-02677-2>
- LLOYD, G.; McCOWN, B. Commercially-feasible micropropagation of mountain laurel, *Kalmia latifolia*, by use of shoot-tip culture. **Combined Proceedings International Plant Propagators Society**, v. 30, p. 421-427, 1980.
- LÓPEZ, R. P.; VALDIVIA, S. The importance of shrub cover for four cactus species differing in growth form in an Andean semi-desert. **Journal of Vegetation Science**, v. 18, n. 2, p. 263-270, 2007. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2007.tb02537.x>
- MARCHI, M. N. G.; CIVATTI, L. M.; VIANA, C. M. Germinação *in vitro* de espécies de cactáceas nativas da Bahia com potencial ornamental. **Revista RG News**, v. 8, n. 2, p. 92-101, 2022.
- MAZAROTTO, E. J.; SANTOS, Á. F. D.; SANTOS, F.; RÊGO, G. M. S.; PIMENTEL, I. C. Diversidade de Fungos Endofíticos em Sementes de Espécies Florestais Nativas na Região Sul do Brasil. **Summa Phytopathologica**, v. 49, e257357, 2023. <https://doi.org/10.1590/0100-5405/257357>
- MOLINARI, L. V.; MARTINS, K. F.; NUNES, C. F.; MARTINS, E. R.; MEIRA, M. R. Óleos essenciais e benzilaminopurina (BAP) para o cultivo *in vitro* de *Dimorphandra mollis*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 41, p. 1-8, 2021. <https://doi.org/10.4336/2021.pfb.41e201901926>
- MONFORT, L. E. F.; PINTO, J. E. B. P.; BERTOLUCCI, S. K. V.; ROSSI, Z. T. T.; LIMA, A. F.; SILVA, S. T.; SILVA, G. M. D. Micropropagação e germinação de sementes *in vitro* de atoveran. **Revista Ceres**, v. 62, n. 2, p. 215-223, 2015. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201562020012>
- MURASHIGE, T.; SKOOG, F. A revised medium for rapid growth and bioassay with tobacco tissue cultures. **Physiologia Plantarum**, v. 15, p. 473-497, 1962. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>

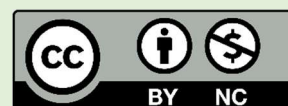
- NYFFELER, R.; EGGLI, U. A farewell to dated ideas and concepts: molecular phylogenetics and a revised suprageneric classification of the family Cactaceae. *Schumannia*, v. 6, p. 109-149, 2010. <http://dx.doi.org/10.5167/uzh-43285>
- PORFIRIO, K. DE P.; TITON, M.; CASTRO, A. C. M. de; PEREIRA, I. M.; KNEGT, R. A. P. de. Multiplicação *in vitro* de *Xylopia aromatica* em diferentes meios de cultura e concentrações de BAP. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 39, n. 1, p. 1-7, 2019. <https://doi.org/10.4336/2019.pfb.39e201901895>
- R. CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2022. Disponível em: <https://www.r-project.org/>.
- RUTHS, R.; DA SILVA BONOME, L. T.; TOMAZI, Y.; SIQUEIRA, D. J.; MOURA, G. S.; LIMA, C. S. M. Produção de mudas de pitaya com diferentes segmentos de cladódio e reguladores de crescimento vegetal. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 3, e13230, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i3.13230>
- SILVA, J. H. C. S.; DE AZERÊDO, G. A. Germination of cactus seeds under saline stress. *Revista Caatinga*, v. 35, n. 1, p. 79-86, 2022. <https://doi.org/10.1590/1983-21252022v35n108rc>
- SILVA, K. B. da; REINIGER, L. R. S.; RABAIOLLI, S. M. dos S.; ZIEGLER, A. C. da F.; STEFANEL, C. M. Efeito de diferentes períodos de cultivo na micropropagação de brotações de *Luehea divaricata*. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 41, p. 1-6, 2021. <https://doi.org/10.4336/2021.pfb.41e201901921>
- SKIRYCZ, A.; CASTILHO, A.; CHAPARRO, C.; CARVALHO, N.; TZOTZOS, G.; SIQUEIRA, J. O. Canga biodiversity, a matter of mining. *Frontiers in Plant Science*, v. 5, e653, 2014. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00653>
- SOUZA, D. M. S. C.; MARTINS, A. R.; FERNANDES, S. B.; SANTOS, J. A. dos; BRONDANI, G. E. Seedling production of *Mimosa calodendron* Mart. ex Benth. in a temporary immersion bioreactor. *Nativa*, v. 10, n. 1, p. 117-124, 2023. <https://doi.org/10.31413/nativa.v10i1.13351>
- THAKUR, R. C.; KARNOSKY, D. F. Micropropagation and germplasm conservation of Central Park Splendor Chinese elm (*Ulmus parvifolia* Jacq. 'A/Ross Central Park') trees. *Plant Cell Reports*, v. 26, n. 8, p. 1171-1177, 2007. <https://doi.org/10.1007/s00299-007-0334-7>
- WENDLING, I.; BRONDANI, G. E.; DUTRA, L. F.; HANSEL, F. A. Mini-cuttings technique: a new *ex vitro* method for clonal propagation of sweetgum. *New Forests*, v. 39, p. 343-353, 2010. <https://doi.org/10.1007/s11056-009-9175-2>
- YAO, Y.; ZHANG, P.; LIU, H.; LU, Z.; YAN, G. A fully *in vitro* protocol towards large-scale production of recombinant inbred lines in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, v. 128, p. 655-661, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11240-016-1145-8>
- ZAPPI, D.; TAYLOR, N. P. **Cactaceae Juss. Flora e Funga do Brasil**, [s. d.]. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB70>. Acessado em: 28 Jul. 2024.

**Agradecimentos:** Agradecemos ao apoio recebido pela Universidade Federal de Lavras (UFLA), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, Código de Financiamento 001), e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG). Agradecemos também à Unidade de Pesquisa e Inovação em Campos Rupestres Ferruginosos, GERDAU Açominas S. A. (Convênio DICON/UFLA: 008/2020) e à Companhia Siderúrgica Nacional S. A. (Acordo de Parceria UFLA: 006/2025).

**Contribuições dos autores:** D.M.L. – metodologia, investigação, coleta de dados, análise de dados, redação (original), redação (revisão e edição); J.Q.S.F. – coleta de dados, redação (original); F.M.M. – coleta de dados, redação (original); G.E.B. – conceitualização, metodologia, investigação, administração, supervisão, redação (original), redação (revisão e edição), obtenção de recursos. Todos os autores revisaram e aprovaram a versão final.

**Disponibilidade de dados:** Os dados desta pesquisa poderão ser obtidos via e-mail, mediante solicitação ao autor correspondente.

**Conflito de interesses:** Os autores declaram não haver conflito de interesse.



**Copyright:** © 2025 by the authors. This article is an Open-Access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons **Attribution-NonCommercial (CC BY-NC)** license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).