

Produção *in vitro* de genótipos de palma forrageira resistente à cochonilha-do-carmim

In vitro production of forage cactus genotypes resistant to carmine cochineal

Jéssica Gomes Fontes^{1*}; Natielly Cristine Gomes de Medeiros²; Magnólia de Araújo Campos³; José Wellington dos Santos⁴; Humberto Actis Zaidan⁵

^{1,3} Universidade Federal de Campina Grande;

² Universidade Federal do Espírito Santo;

⁴ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Algodão.

⁵ Universidade Federal do Sul da Bahia

*Autor correspondente. E-mail: jessicagfonts@gmail.com

Recebido: 28/11/2025; Publicado: 15/02/2026

RESUMO

No semiárido nordestino, a palma forrageira é popularmente conhecida como “ouro verde”. É uma espécie oriunda do México, onde já foram identificadas mais de 100 variedades. A palma suporta grandes períodos de estiagem nas regiões mais quentes, auxiliando os agricultores que a utilizam na ração animal. O objetivo deste estudo foi ajustar um protocolo para produção em larga escala de mudas micropagadas de genótipos de palma forrageira resistentes à cochonilha-do-carmim. Os experimentos foram divididos em quatro etapas: indução de brotos, crescimento de brotos, multiplicação de brotos e ensaio com meios de cultivo. No ensaio, utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 5x2x2 (cinco concentrações do regulador de crescimento 6-benzilaminopurina (BAP): 4,44; 8,87; 13,31; 17,74 e 22,19 µM; dois genótipos: Miúda (*Nopalea cochennillifera* Salm Dyck) e Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia ficus-indica* (L) Mill); duas concentrações de sacarose: 3 e 5% (p/v), com 10 repetições. Todas as variáveis foram analisadas através do programa de estatística SAS. O genótipo foi o principal fator que influenciou o número e a altura dos brotos transformados. Pensando na combinação mais econômica, recomenda-se a combinação de 4,44 µM BAP e 3% (p/v) de sacarose para os genótipos Miúda e Orelha de Elefante Mexicana.

Palavras-chave: Multiplicação *in vitro*, *Opuntia* sp., *Nopalea* sp., *Dactylopius opuntiae*, Melhoramento genético.

ABSTRACT

In the northeastern semi-arid region of Brazil, forage cactus is popularly known as the “green gold.” It is a species native to Mexico, where more than 100 varieties have already been identified. Forage cactus is highly tolerant to long periods of drought in hot regions, assisting farmers who use it as animal feed. The objective of this study was to establish a protocol for the large-scale production of micropropagated plantlets of forage cactus genotypes resistant to the carmine cochineal. The experiments were divided into four stages: shoot induction, shoot growth, shoot multiplication, and culture media testing. A completely randomized design was used in a 5x2x2 factorial scheme, consisting of five concentrations of the growth regulator 6-benzylaminopurine (BAP) (4.44; 8.87; 13.31; 17.74 and 22.19 µM), two genotypes: Miúda (*Nopalea cochennillifera* Salm Dyck) and Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia ficus-indica* (L) Mill), and two sucrose concentrations 3% and 5% (w/v), with 10 replicates. All variables were analyzed using the SAS statistical program. The genotype was the main factor influencing the number and height of regenerated shoots. Considering the most cost-effective combination, the use of 4.44 µM BAP and 3% (w/v) sucrose is recommended for the genotypes Miúda and Orelha de Elefante Mexicana.

Keywords: *In vitro* propagation, *Opuntia* sp., *Nopalea* sp., *Dactylopius opuntiae*, Genetic improvement.

INTRODUÇÃO

Na região Nordeste do Brasil, o bioma Caatinga abrange uma extensa área de terras inseridas no semiárido, caracterizado por clima tropical e baixa disponibilidade hídrica (Reis *et al.*, 2023). Essas condições limitam a produtividade das forragens nativas e dificultam a produção de alimentos para os animais (Santos *et al.*, 2025). Apesar das adversidades, a Caatinga apresenta grande biodiversidade de espécies (Tabarelli *et al.*, 2018).

As severas condições climáticas do semiárido nordestino exigem o uso de espécies vegetais que apresentem elevada capacidade de adaptação. A palma forrageira destaca-se como uma importante alternativa para a região (Soares *et al.*, 2021). Originária do México, possui mais de 100 variedades conhecidas. No semiárido nordestino, é popularmente conhecida como “ouro verde”, por suportar longos períodos de estiagem graças ao seu mecanismo fotossintético CAM – Metabolismo Ácido das Crassuláceas (Silva *et al.*, 2015).

As plantas CAM geralmente apresentam crescimento lento e, por vezes, capacidade reprodutiva limitada, uma vez que a produção, viabilidade e germinação de sementes, bem como a floração, dependem de alta irradiação, regimes térmicos específicos (principalmente noturnos), fotoperíodos adequados e baixa, porém previsível, disponibilidade hídrica associada a solos bem drenados (Yang *et al.*, 2015; Borland *et al.*, 2018; Winter & Smith, 2022).

As principais espécies cultivadas no Brasil são a palma Gigante (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.), caracterizada pela elevada rusticidade e tolerância a solos pobres e baixa disponibilidade hídrica (Silva *et al.*, 2020a), e a palma Miúda ou Doce (*Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck), que apresenta maiores exigências edafoclimáticas, requerendo solos de melhor fertilidade e drenagem, maior disponibilidade hídrica sendo menos tolerante a estresses extremos (Le Houérou, 2002). Em períodos secos, produtores comercializam a palma com outros criadores, garantindo renda adicional (Silva *et al.*, 2020a). A palma forrageira é rica em água, mucilagem e minerais, além de apresentar alto rendimento e digestibilidade da matéria seca (Oliveira *et al.*, 2021). No entanto, deve ser combinada com alimentos fibrosos como silagem, feno ou bagaço de cana, para corrigir sua deficiência de fibra. Além da alimentação animal, a palma é utilizada na alimentação humana, na medicina, em cosméticos, e como fonte energética (Nova e Tonholo, 2017; Inglese *et al.*, 2017).

A cochonilha-do-carmim (*Dactylopius opuntiae*), inseto pertencente ao gênero *Dactylopius*, foi registrada pela primeira vez em Pernambuco em 1998. Embora historicamente associada à produção do corante carmim, amplamente utilizado pelas indústrias alimentícia e têxtil, sua introdução no Brasil como alternativa econômica resultou em impactos negativos expressivos sobre a produção de palma forrageira, especialmente no semiárido nordestino (Lopes *et al.*, 2010; Silva *et al.*, 2020b).

Atualmente, estima-se que existam cerca de 500.000 hectares de palma cultivada no Nordeste brasileiro, com destaque para os estados de Pernambuco, Paraíba, Alagoas, Bahia, Ceará e Rio Grande do Norte (De Sá Teles *et al.*, 2024). Em Pernambuco, a infestação por *D. opuntiae* tem provocado perdas significativas para os pecuaristas, comprometendo a segurança alimentar dos rebanhos e a renda dos produtores. Diante desse cenário, uma das principais estratégias de manejo adotadas tem sido o cultivo de variedades resistentes. Estudos têm identificado os cultivares Orelha de Elefante Mexicana, Baiana e Miúda como resistentes ao ataque da cochonilha-do-carmim (Borges *et al.*, 2013; INSA, 2016). Lopes *et al.* (2010) observaram resistência adicional nos genótipos Orelha de Elefante Africana, Orelha de Onça e Palma Azul, enquanto cultivares como Gigante, X-Italiana, Redonda e Língua-de-vaca apresentaram elevada suscetibilidade ao inseto.

O uso de reguladores de crescimento vegetal, como as citocininas, é determinante para o sucesso da multiplicação *in vitro* (Rodrigues *et al.*, 2019). O 6-benzilaminopurina (BAP) destaca-se como uma das citocininas sintéticas mais utilizadas, atuando na estimulação da divisão celular, quebra da dominância apical e indução de brotações laterais, o que resulta em maior taxa de multiplicação de explantes (Pérez-Molphe-Balch *et al.*, 2015). Em cactáceas, incluindo espécies dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*, estudos demonstram que o BAP promove aumento significativo no número de brotos por explante, embora sua eficiência dependa da concentração utilizada, do genótipo e da interação com outros reguladores de crescimento (Escobar *et al.*, 1986; Dutra *et al.*, 2020; George *et al.*, 2008). A otimização das doses de BAP é essencial para o desenvolvimento de protocolos eficientes de micropropagação (Bordignon *et al.*, 2022).

Dessa forma, o objetivo deste estudo foi ajustar um protocolo para produção em larga escala de mudas micropagadas de genótipos de palma forrageira resistentes à cochonilha-do-carmim.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos de micropropagação da palma forrageira foram conduzidos no Laboratório de Cultura de Tecidos Vegetais, da Embrapa Algodão, em Campina Grande, Paraíba. Foram coletados cladódios jovens de dois genótipos de palma forrageira Miúda e Orelha de Elefante Mexicana, ambos resistentes à cochonilha-do-carmim, com tamanhos variando entre 8,0-12,0 cm, e no laboratório foram lavados com água corrente e algumas gotas de detergente líquido neutro. Em seguida, os cladódios foram levados para a câmara de fluxo laminar, imersos em álcool 70% por 1 minuto, em seguida foram transferidos para uma solução de hipoclorito de sódio a 5% (água sanitária pura), acrescida de uma gota de Tween 20 para cada 100 ml da solução. Foram agitados manualmente por 15 minutos, lavados por três vezes com água destilada estéril e acondicionados em placas de Petri (Figura 1).

O meio de cultura utilizado no presente estudo teve como base a formulação original de Murashige e Skoog (1962), não sendo realizadas modificações nas concentrações de sais minerais e vitaminas. As alterações aplicadas ao meio MS consistiram exclusivamente na suplementação com reguladores de crescimento vegetal,

sacarose e agente solidificante, conforme a etapa experimental. O protocolo empregado é autoral, porém fundamentado e adaptado de metodologias previamente descritas na literatura para cactáceas, especialmente nos trabalhos de Peixoto (2004) e Vasconcelos *et al.* (2007).



Figura 1. Ciclo de 12 meses de multiplicação *in vitro* de palma forrageira. Etapas: (I) coleta das cladódios no campo; (II) desinfestação em laboratório; (III) preparação dos brotos para inoculação; (IV) inoculação das gemas axilares no meio de indução de brotos - MIB (8,87 μ M BAP + 1,43 μ M AIA); (V) meio de crescimento de brotos - MCB (2,22 μ M BAP + 1,43 μ M AIA); (VI) meio de multiplicação de brotos - MMB (4,44 μ M BAP + 1,43 μ M AIA); (VII) enraizamento dos brotos *in vitro/ex vitro*; (VIII) plantio das plântulas em sacos plásticos na fase de aclimatização e plantio das mudas no campo.

Os cladódios de cada genótipo foram seccionados transversalmente, excisando-se entre 33 e 57 gemas axilares por cladódio, com tamanho de aproximadamente 5,0 mm^3 . As gemas axilares foram inoculadas individualmente em tubos de ensaio com dimensões de 14,5 cm de altura e 2,3 cm de diâmetro, fechados com tampas de polipropileno, contendo 10 ml do meio de cultura com os sais e vitaminas do MS, acrescido de sacarose a 5%, solidificado com ágar a 0,6% e pH 5,7. As etapas do experimento foram divididas em: a) indução de brotos; b) crescimento de brotos; c) multiplicação de brotos; e, d) experimento com 10 meios de cultura. Após cada etapa os cultivos foram mantidos em sala de crescimento por 30 dias, à temperatura de 25 \pm 2°C, fotoperíodo de 16 horas e intensidade luminosa de 40 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (Figura 1).

a) Indução de brotos

Para a indução de brotos utilizou-se meio de cultura MIB (Meio de Indução de Brotos) contendo a mistura basal de sais e vitaminas do MS modificado, suplementado com a combinação de 8,87 μ M BAP e 1,43 μ M AIA (Figura 1).

b) Crescimento de brotos

Após ficarem no meio de indução de brotos, os explantes foram transferidos para o meio de crescimento de brotos (MCB), contendo a mistura basal de sais e vitaminas do MS modificado, suplementado com a combinação de 2,22 μ M BAP e 1,43 μ M AIA. As bases dos explantes foram seccionadas transversalmente para eliminação dos tecidos oxidados (Figura 1).

c) Multiplicação de brotos

Após 30 dias no meio de crescimento de brotos, os explantes foram transferidos para o meio de multiplicação de brotos (MMB), suplementado com a mistura basal de sais e vitaminas do MS modificado,

suplementado com a combinação de 4,44 μM BAP e 1,43 μM AIA. Após alguns subcultivos os explantes foram transferidos dos tubos de ensaio para frascos com dimensões de 8,0 cm de altura e 5,0 cm de diâmetro (Figura 1).

d) Ensaio com meios de cultivo

Após 30 dias nos meios de multiplicação, efetuou-se a medição das alturas (cm) dos brotos e aqueles com tamanhos entre 1,5 e 4,0 cm foram escolhidos e seccionados transversalmente na base e no ápice para a quebra da dominância apical. A seguir foram novamente seccionados em cilindros com tamanho de aproximadamente 5,0 mm de espessura.

Estes cilindros foram cortados longitudinalmente, originando dois explantes, que foram inoculados individualmente em tubos de ensaio, contendo meios de cultura MS modificado com cinco concentrações de BAP (4,44; 8,87; 13,31; 17,74 e 22,19 μM) em combinação com duas concentrações de sacarose (3 e 5% p/v).

As gemas originais remanescentes foram novamente transferidas para o meio MCB. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5x2x2 (cinco concentrações de regulador de crescimento, dois genótipos, duas concentrações de sacarose). A unidade experimental consistiu em um frasco de cultivo, sendo utilizados dez frascos por tratamento, contendo três explantes por frasco, totalizando 30 explantes por tratamento.

Os resultados obtidos nos ensaios de multiplicação referentes à variável número de brotos (NBt) foram transformados para $\sqrt{x+1}$. Todas as variáveis foram analisadas através do programa de estatística SAS, aplicando-se a análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

RESULTADOS

Os resultados da análise de variância (Tabela 1) evidenciam que o fator genótipo (G) exerceu efeito significativo ($p < 0,05$) sobre as variáveis analisadas: altura de brotos (AB) e número de brotos transformados (NBt).

Tabela 1. Análise de variância e teste F a 5% de probabilidade para os fatores de variação (FV): genótipo (G), sacarose (S), BAP (B) e suas interações, referente às variáveis analisadas altura de brotos (AB) e número de brotos transformados (NBt)

FV	GL	AB	QM
Genótipo (G)	1	0,7588*	0,5254*
Sacarose (S)	1	0,1142 ns	$3,2 \times 10^{-6}$ ns
BAP (B)	4	0,1846 ns	0,2382 ns
GxS	1	0,2504 ns	$4,23 \times 10^{-5}$ ns
GxB	4	0,1777 ns	0,1344 ns
SxB	4	1,1018**	0,2872°
GxSxB	4	1,0790**	0,4061**
Erro	168	0,1795	0,1248
CV %	-	93,45	22,41

°Significativo ($p < 0,10$); *Significativo ($p < 0,05$); ** Significativo ($p < 0,01$); ns: não significativo ($p > 0,05$); # Dados transformados em $\sqrt{x+1}$.

Quando se considerou a influência de sacarose dentro de cada nível de BAP observou-se que no genótipo Miúda, houve diferença significativa na concentração de 8,87 μM BAP entre 3% e 5% (p/v) de sacarose, sendo a melhor combinação 8,87 μM BAP com 5% (p/v) de sacarose, para a variável altura de brotos (Figura 2).

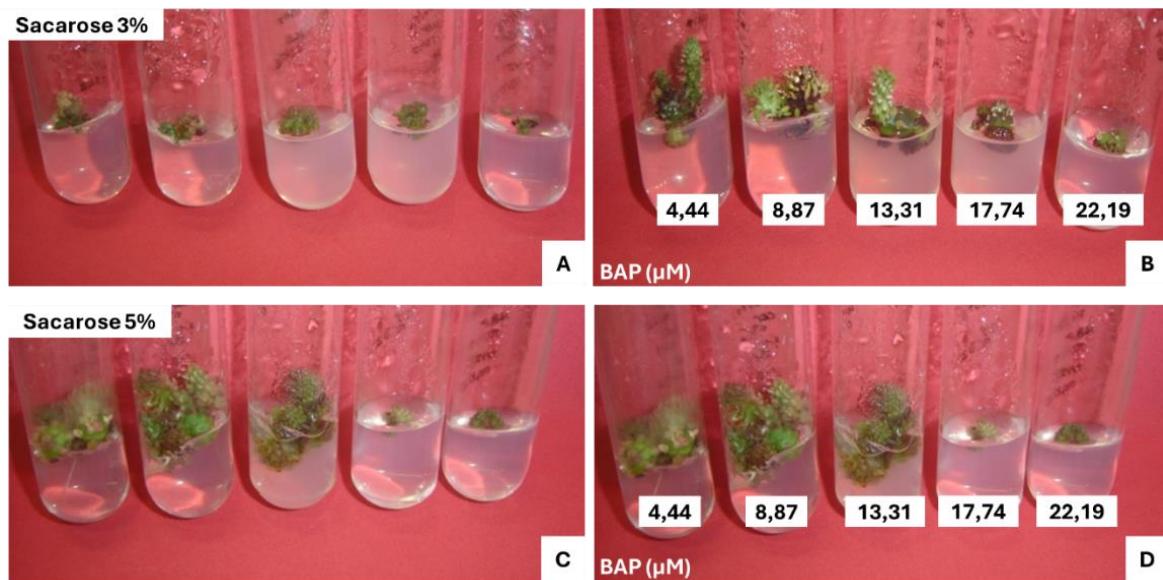


Figura 2. Multiplicação de brotos dos genótipos Miúda (A-B) e Orelha de Elefante Mexicana (C-D), em diferentes concentrações de sacarose (3 e 5%) e BAP (4,44 a 22,19 μ M).

Por outro lado, para o genótipo Orelha de Elefante Mexicana, houve diferença significativa nas concentrações de 4,44, 13,31 e 22,19 μ M BAP entre 3 e 5% (p/v) de sacarose, sendo a melhor combinação 22,19 μ M BAP com 5% (p/v) de sacarose, para a variável altura de brotos (Tabela 2).

Tabela 2. Interação entre diferentes concentrações de Sacarose e BAP, com os genótipos Miúda e Orelha de Elefante Mexicana, referente à variável altura de brotos

	Concentração de Sacarose	Miúda		Orelha de Elefante Mexicana	
		3%	5%	3%	5%
BAP (μ M)	4,44	0,5611 a	0,4811 a	0,8355 a	0,2278 a
	8,87	0,1570 b	0,6260 a	0,5390 a	0,4850 a
	13,31	0,3087 a	0,6070 a	0,7890 a	0,3000 b
	17,74	0,4278 a	0,2600 a	0,4150 a	0,3555 a
	22,19	0,1878 a	0,2555 a	0,1000 b	1,0680 a

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p>0,05$).

Pode-se observar que, para o genótipo Orelha de Elefante Mexicana com sacarose a 3%, quanto menor a concentração de BAP (μ M) maior é a altura de brotos (cm) (Figura 3).

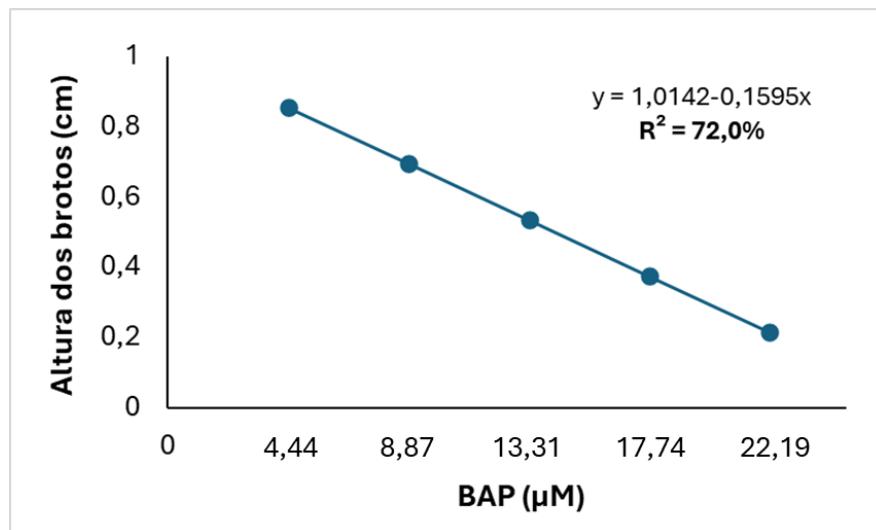


Figura 3. Relação entre concentrações de BAP (μM) e Altura de Brotos (cm), no genótipo Orelha de Elefante Mexicana e sacarose a 3%.

Quando se considerou a influência de sacarose dentro de cada nível de BAP observou-se que no genótipo Orelha de Elefante Mexicana, houve diferença significativa na concentração de 22,19 μM de BAP entre sacarose 3% e 5% (p/v), sendo a melhor combinação 22,19 μM de BAP com 5% (p/v) de sacarose para a variável NBt (Tabela 3).

Tabela 3. Interação entre os genótipos Miúda e Orelha de Elefante Mexicana com diferentes concentrações de sacarose e BAP para número de brotos transformados (NBt[#])

	Concentração de Sacarose	Miúda		Orelha de Elefante Mexicana	
		3%	5%	3%	5%
BAP (μM)	4,44	1,8572 a	1,6143 a	1,5690 a	1,2654 a
	8,87	1,4121 a	1,6911 a	1,5524 a	1,5185 a
	13,31	1,6178 a	1,8529 a	1,7539 a	1,5701 a
	17,74	1,6027 a	1,4803 a	1,4489 a	1,4472 a
	22,19	1,6694 a	1,5094 a	1,3121 b	1,7846 a

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p>0,05$);
#Dados transformados em $\sqrt{x+1}$.

Pode-se observar que, para o genótipo Orelha de Elefante Mexicana a 3% de sacarose, quanto maior a concentração de BAP (μM) maior é o número de brotos (Figura 4).

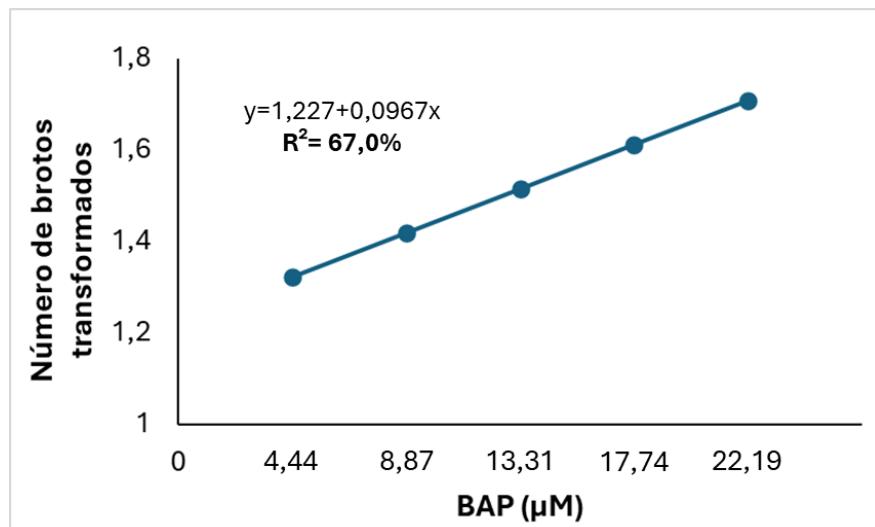


Figura 4. Relação entre Número de Brotos transformados ($\sqrt{x+1}$) e concentrações de BAP (μM), no genótipo Orelha de Elefante Mexicana e sacarose a 3%.

DISCUSSÃO

Na Tabela 1 indica que os genótipos Miúda e Orelha de Elefante Mexicana apresentam respostas distintas ao cultivo *in vitro*, o que pode estar relacionado a diferenças genéticas que afetam a capacidade de regeneração e desenvolvimento morfofisiológico dos brotos. Resultados semelhantes foram observados por Silva et al. (2020b), que demonstraram a influência genotípica em protocolos de micropropagação de *Opuntia ficus-indica*, onde genótipos distintos apresentaram variações significativas na multiplicação de brotos e enraizamento.

Por outro lado, os fatores isolados sacarose (S) e BAP (B) não apresentaram efeitos estatisticamente significativos ($p > 0,05$) sobre nenhuma das variáveis estudadas. Esse resultado sugere que, dentro das concentrações testadas, nem a sacarose nem o BAP isoladamente foram determinantes para o aumento da altura ou do número de brotos. Contudo, a interação entre sacarose e BAP (S x B) foi altamente significativa ($p < 0,01$) para a variável altura de brotos (AB) e marginalmente significativa ($p < 0,10$) para o número de brotos transformados (NBt), indicando que a resposta das plantas é mais sensível à combinação desses dois fatores do que ao seu efeito individual. Esses dados corroboram os achados de Ferreira et al. (2022), que observaram que a resposta de *Opuntia stricta* à organogênese *in vitro* depende fortemente da sinergia entre reguladores de crescimento e fonte de carbono.

Além disso, a interação tripla entre genótipo, sacarose e BAP ($G \times S \times B$) também foi altamente significativa ($p < 0,01$) para ambas as variáveis, demonstrando que o desempenho morfogênico dos genótipos depende da combinação específica de concentração de sacarose e BAP. Isso reforça a necessidade de protocolos personalizados para cada genótipo, como defendido por Bouzroud et al. (2022) em revisão sobre cactáceas, onde diferentes acessos de *Opuntia* responderam de forma distinta às mesmas condições de cultivo.

O coeficiente de variação (CV%) foi elevado para a variável altura de brotos (93,45%), sugerindo alta variabilidade entre os explantes, mesmo dentro de um mesmo tratamento. Essa variabilidade pode ser atribuída às características morfológicas intrínsecas ao material vegetal, como a presença de multibrotações em um único frasco, o que promove competição por nutrientes e espaço, conforme discutido por Mahood et al. (2025) em experimentos com *O. ficus-indica*, onde o tipo de explante (número de areolas por cladódio) foi determinante no desempenho regenerativo. Para a variável NBt, o CV foi mais baixo (22,41%), indicando maior uniformidade na resposta em relação ao número de brotos transformados.

Portanto, os dados sugerem que, apesar da ausência de efeitos isolados significativos de sacarose e BAP, a interação entre esses fatores, associada ao genótipo, é importante na eficiência da regeneração *in vitro* de *Opuntia*. A combinação mais eficiente observada (4,44 μM de BAP com 3% (p/v) de sacarose) mostrou-se promissora, particularmente para os genótipos Miúda e Orelha de Elefante Mexicana. Essa formulação encontra respaldo em trabalhos recentes que destacam a eficácia de citocininas, sobretudo BAP em baixas concentrações, para estímulo da organogênese em cactáceas, embora estudos como Touaf et al. (2025) ressaltem que alternativas como CPPU podem aumentar a taxa de multiplicação, reforçando a necessidade de ajustes conforme o genótipo e o objetivo do cultivo.

Houve diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) entre os genótipos Miúda e Orelha de Elefante Mexicana referente às variáveis AB e NBt, sendo que o primeiro apresentou maior média para a variável NBt e o

segundo obteve maior média para a variável AB. Contudo, não houve diferença significativa entre as concentrações de sacarose, nem entre as de BAP.

Ao desdobrar a interação de SxB, observou-se que só houve influência da concentração de sacarose dentro de cada nível de BAP, sendo a melhor combinação 4,44 μ M BAP com 3% (p/v) de sacarose, tanto para AB como para NBt, independentemente dos genótipos utilizados. Ao desdobrar a interação tripla GxSxB verificou-se que, não houve efeito dos fatores Genótipo e Sacarose dentro de cada nível de BAP, referente às variáveis AB e NBt.

Os resultados da Figura 3 estão de acordo com os obtidos por Medeiros (2011), que trabalhando *in vitro* com o genótipo Orelha de Elefante Mexicana, obtiveram na ausência de BAP brotos com altura média de 2,2 cm, que foi quase duas vezes superior aos valores obtidos quando os explantes foram induzidos em meios de cultura com concentrações de 1,1 μ M (1,28 cm); 2,22 μ M (1,13 cm) e 4,44 μ M BAP (1,25 cm), suplementados com 3% de sacarose. Os resultados obtidos estão em consonância com os de Dutra et al. (2020), que avaliando a multiplicação *in vitro* de genótipos de palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*), observaram que a adição de BAP, isoladamente ou em combinação com ácido indolacético (AIA), não promoveu indução significativa de brotos, tampouco incremento na altura das plântulas, em comparação ao controle. Aliyu e Mustapha (2007), em ensaios *in vitro* com *Opuntia ficus-indica*, registraram alturas de 1,22 e 1,23 cm nas concentrações 4,44 e 5,55 μ M BAP, respectivamente. Estudos experimentais mais recentes confirmam que a resposta morfogênica à BAP é dependente da composição do meio, do tipo de explante e do genótipo, sendo concentrações intermediárias associadas a crescimento equilibrado e maior vigor das brotações (Ferreira et al., 2022; Mahood et al., 2025).

Vasconcelos et al. (2007), estabeleceram protocolo de micropropagação para a cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* - Salm Dyck), tendo concluído que o melhor meio foi o MS suplementado com 3% de sacarose, 4,44 μ M BAP e 0,57 μ M AIA. Concluíram também que o corte longitudinal dos cladódios na fase de multiplicação, favoreceu a emissão de brotos no meio anteriormente citado e que o meio de cultura MS básico sem reguladores de crescimento, promoveu bom enraizamento dos explantes nos valores da Tabela 3.

Os resultados apresentados na Figura 4 corroboram os de Khalafalla et al. (2007), que observaram o aumento do número de brotos devido ao aumento na concentração de BAP (22,19 μ M), em meio MS para o genótipo *Opuntia ficus-indica*. Mas, esses resultados diferiram dos relatados por Fogaça et al. (2006), que trabalhando com plântulas de *Agapanthus umbellatus* multiplicadas *in vitro* em concentrações acima de 17,8 μ M BAP, notaram sintomas de fitotoxidez e uma redução severa da emissão de brotos. A citocinina tem como função estimular a formação de parte aérea, porém o seu excesso pode resultar na inibição das brotações, conforme o sistema de cultivo.

CONCLUSÃO

O genótipo foi o principal fator determinante no número e na altura dos brotos obtidos *in vitro* em *Opuntia*, evidenciando a forte influência genética sobre a resposta morfogênica. A interação entre genótipo, concentrações de BAP e sacarose também apresentou efeito significativo, sobretudo sobre a altura dos brotos, indicando que a eficiência da multiplicação depende do balanço entre reguladores de crescimento e fonte de carbono.

Entre as combinações avaliadas, 4,44 μ M de BAP associado a 3% (p/v) de sacarose apresentou melhor desempenho para os genótipos Miúda e Orelha de Elefante Mexicana. A combinação identificada não deve ser generalizada, mas sim considerada como uma base técnica para ajustes e padronização de protocolos de propagação *in vitro* para genótipos resistentes à cochonilha-do-carmim, aliando eficiência biológica e viabilidade econômica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Programa PIBIC/CNPq/UFCG pela concessão da bolsa de Iniciação Científica, essencial para o desenvolvimento deste trabalho. À Embrapa Algodão, pela disponibilização do Laboratório de Cultura de Tecidos, e, especialmente, à Dra. Julita Carvalho, por toda orientação, apoio e acompanhamento no laboratório. Minha eterna gratidão ao Prof. Dr. Humberto Zaidan (*in memoriam*), que me introduziu ao universo da ciência com sua dedicação incansável. Agradeço também ao Prof. Augusto Jorge, pelo apoio no fornecimento dos genótipos de palma e pela colaboração nas atividades de campo.

REFERÊNCIAS

ALIYU, B.S.; MUSTAPHA, Y.; Effect of different media on the *in vitro* growth of cactus *Opuntia ficus-indica* explants. *African Journal of Biotecnology*. v. 6, n. 11, p. 1330-1331, 2007.

BORDIGNON, K.; NAGEL, J. C.; SOMMER, L. R.; HEINZMANN, N. Desinfestação, propagação *in vitro* e subcultivo de *Pereskia aculeata* Mill. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 13, e499111335548, 2022. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i13.35548>

BORGES, L. R. et al. Selection of cactos pear clones regarding resistance to carmine cochineal *Dactylopius opuntiae* (Dactylopiidae). **Acta Horticulturae**. V. 995, p. 359-365, 2013. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.995.47>

BORLAND, A. M. et al. Engineering crassulacean acid metabolism to improve water-use efficiency. **Trends in Plant Science**, 23, p. 327–339, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2017.12.009>.

BOUZROUD, S. et al. Micropropagation of *Opuntia* and other cacti species through axillary shoot proliferation: A comprehensive review. **Frontiers in Plant Science**, v.13, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.926653>

DE SÁ TELES, E. B. et al. Cultivares de palma forrageira sob diferentes arranjos e densidades de plantio. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 17, n. 1, p. 157-177, 2024. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.1.p157-177>

DUTRA, C. M. S. et al. Multiplicação *in vitro* de palma forrageira *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill para cultivo no Semiárido do Rio Grande do Norte. **HOLOS**, v. 4, p. 1-15, 2020. DOI: <https://doi.org/10.15628/holos.2020.10420>

ESCOBAR, A.; VILLALOBOS, V. M. A.; VILLEGRAS M. A. *Opuntia* micropropagation by axillary proliferation. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 7, p.269-277, 1986. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00037744>

FERREIRA, C. C. S. et al. Desenvolvimento da palma forrageira *Opuntia stricta* (Haw.) Haw. *in vitro* em resposta à substituição do nitrato de potássio por um fertilizante comercial à base de KNO₃. **Revista Ciência Rural**, v. 52, n. 1, e20200122, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200122>

FOGAÇA, L.A. et al. Morphological and physiological characteristics *Agapanthus umbellatus* var. minor of shoots propagated in bioteactor of temporary immersion. **Plant Cell Culture Micropagation**. v. 2, p. 80-87, 2006. DOI: <https://doi.org/10.5380/rsa.v8i4.9882>

GEORGE, E. F.; HALL, M. A.; DE KLERK, G.-J. **Plant propagation by tissue culture**. 3. ed. Dordrecht: Springer, 2008.

INGLESE, P.; LIGUORI, G.; BARRERA, E. Ecophysiology and reproductive biology of cultivated cacti. In: Inglese P et al. (Eds), Crop ecology, cultivation and uses of cactus pear crop ecology, cultivation. **Food and Agriculture Organization of the United Nations and the International Center for Agricultural Research in the Dry Areas**. Rome, p. 43-50, 2017.

INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO (INSA). *Resultados das pesquisas com a palma-forrageira: resistência de cultivares Miúda, Orelha de Elefante Mexicana e Baiana à cochonilha-do-carmim*. **Boletim Informativo INSA**, ano IV, n. 04, abril 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/insa/pt-br/boletim-informativo/2016/boletim-informativo-insa-ano-iv-no-04-abril-de-2016.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2025.

KHALAFALLA, M. M.; et al. Micropropagation of cactus (*Opuntia ficus-indica*) as strategic tool to combat desertification in arid and semi arid regions. **International Journal of Sustainable Crop Production**. v. 2, n. 4, p. 1-8, 2007.

LE HOUÉROU, H. N. Cacti (*Opuntia* spp.) as a fodder crop for marginal lands in the Mediterranean Basin. **Acta Horticulturae**, 581, 21-46, 2002. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.581.1>

LOPES, E. B.; et al. Seleção de genótipos de palma forrageira (*Opuntia* spp) e (*Nopalea* spp) resistentes à cochonilha do Carmin (*Dactylopius opuntiae* Cockerele, 1929) na Paraíba, Brasil. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 7, n. 1, p. 204-215, 2010.

MAHOOD, H. E. et al. *Opuntia ficus-indica*: Cladode explants with several areoles, forchlorfenuron and indole-3-butyric acid for optimized *in vitro* culture and NPK controlled release fertilizer for direct *ex vivo* rooting. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 53, n. 2, 2025. DOI: <https://doi.org/10.15835/nbha53214514>

MEDEIROS, E. C. Aspectos bioquímicos e fisiológicos da palma forrageira *Opuntia stricta* Haw sob distintos sistemas de cultivo *in vitro*. 2011. 80 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Rural de Pernambuco, Departamento de Química, Recife, PE, 2011.

MURASHIGE, T.; SKOOG, F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. **Physiologia Plantarum**, v. 15, p. 473–497, 1962. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>

NOVA, S. R. M.; TONHOLO, J. Palma forrageira: seu uso em alimentação e novas oportunidades de negócios de elevado valor agregado. **Caderno de Prospecção**, v. 10, n. 4, p. 738–753, 2017. DOI: <https://doi.org/10.9771/cp.v10i4.22939>

OLIVEIRA, J. F. F. et al. Metabólitos secundários presentes na palma forrageira: benefícios e potencialidades. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12809>

PEIXOTO, J. R. **Micropropagação de plantas**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2004.

PÉREZ-MOLPHE-BALCH. et al. Tissue culture of ornamental cacti. **Scientia Horticulturae**, v. 190, p. 1–15, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0012>

REIS, H. S. dos. et al. Plantas medicinais da Caatinga: uma revisão integrativa dos saberes etnobotânicos no semiárido nordestino. **Arquivos de Ciências da Saúde da UNIPAR**, v. 27, n. 2, p. 874–900, 2023. DOI: <https://doi.org/10.25110/arqsaude.v27i2.2023-020>

RODRIGUES, F. A.; COSTA, F. H. S.; PASQUAL, M. Crescimento de bananeiras micropagadas em função do substrato e adubo de liberação controlada. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 1, p. 146–149, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5965/223811711812019146>

SANTOS, W. M. dos. et al. Sistemas agroflorestais no semiárido brasileiro: uma revisão sobre viabilidade, benefícios econômicos e ecológicos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 18, n. 01, p. 200–220, 2025. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v18.1.p200-220>

SILVA, A. S. et al. Sistema de produção, valor nutricional e eficiência da palma-forrageira no Semiárido: uma revisão. **Nucleus Animalium**, v.12, n. 2, 2020a. DOI: <https://doi.org/10.3738/21751463.3683>

SILVA, E. S. et al. Características da palma forrageira *Opuntia* spp. com potencial à resistência à cochonilha-do-carmim *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) (Cockerell). **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 7, n. 17, p. 1533-1541, 2020b. DOI: [https://doi.org/10.21438/rbgas\(2020\)071731](https://doi.org/10.21438/rbgas(2020)071731)

SILVA, T. G. F., et al. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 2, p. 10-18, 2015.

SOARES, F. M. F. et al. Avaliação do crescimento vegetativo de palma forrageira no Semiárido Alagoano. **Diversitas Journal**, v. 6, n. 1, p. 1777–1785, 2021. DOI: <https://doi.org/10.17648/diversitas-journal-v6i1-1702>

TABARELLI, M. et al. Caatinga: legado, trajetória e desafios rumo à sustentabilidade. **Ciência e cultura**, v. 70, n. 4, p. 25-29, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602018000400009>

TOUAF, I. et al. Micropropagation *in vitro* of *Opuntia ficus-indica* through axillary buds' proliferation: a review. **In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant**, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11627-025-10548-y>

VASCONCELOS, A. G. V. et al. Micropagação de palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* - Salm Dyck). **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 2, n. 1, p. 28-31, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v2i1a765>

WINTER, K.; SMITH, J. A. C. Crassulacean acid metabolism: current status and perspectives. **New Phytologist**, 233, p. 205–222, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.17772>

YANG, X. *et al.* A roadmap for research on crassulacean acid metabolism (CAM). **Journal of Experimental Botany**, v. 66, p. 3045–3061, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erv086>