

Teonis Batista da Silva  
Jenilton Gomes da Cunha  
(Orgs.)



VOL. 2

# AGRONOMIA

## AVANÇOS EM CIÊNCIA, TECNOLOGIA E PRODUÇÃO AGRÍCOLA





## CIENTÍFICA DIGITAL EDITORIAL LTDA

Barueri - São Paulo - Brasil  
www.cientificadigital.org - contato@cientificadigital.org

|                           |                                                 |
|---------------------------|-------------------------------------------------|
| <b>Diagramação e Arte</b> | <b>Edição © 2025 Editora Científica Digital</b> |
| Diego Santos              | Texto © 2025 Os Autores                         |
| Diogo Lima                | 1ª Edição - 2025                                |
| <b>Imagens da Capa</b>    | <b>Acesso Livre - Open Access</b>               |
| Adobe Stock - 2025        |                                                 |

© COPYRIGHT - TODOS OS DIREITOS RESERVADOS. A editora detém os direitos autorais sobre a edição e o projeto gráfico, enquanto os autores mantêm os direitos autorais de seus respectivos textos. Esta obra está licenciada sob a Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional, permitindo o download e compartilhamento integral ou parcial, desde que a fonte seja devidamente citada e os créditos atribuídos aos autores. É obrigatório que a obra permaneça em formato de Acesso Livre (Open Access), sem qualquer alteração. A catalogação em plataformas de acesso restrito ou com fins comerciais é estritamente proibida.



### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A281      Agronomia: avanços em ciência, tecnologia e produção agrícola: volume 2 /  
Organização de ~~Teonis Batista da Silva~~, Jenilton Gomes da Cunha. – Barueri-SP:  
Científica Digital, 2025.

Formato: PDF  
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
Modo de acesso: World Wide Web  
Inclui Bibliografia  
ISBN 978-65-83998-68-2  
DOI 10.37885/978-65-83998-68-2

1. Agronomia. I. Silva, Teonis Batista da (Organizador). II. Cunha, Jenilton Gomes da  
(Organizador). III. Título.

CDD 630

Elaborado por Janaína Ramos – CRB-8/9166

Índice para catálogo sistemático:

I. Agronomia

E-BOOK

ACESSO LIVRE ON LINE - IMPRESSÃO PROIBIDA

2025

Teonis Batista da Silva  
Jenilton Gomes da Cunha  
(Orgs.)

# **Agronomia: Avanços em Ciência, Tecnologia e Produção Agrícola**

**Volume 2**

1ª EDIÇÃO



científica digital

**2025 - BARUERI - SP**

# CONSELHO EDITORIAL

Prof. Dr. André Cutrim Carvalho  
Prof. Dr. Antônio Marcos Mota Miranda  
Prof<sup>a</sup>. Ma. Auristela Correa Castro  
Prof. Dr. Carlos Alberto Martins Cordeiro  
Prof. Dr. Carlos Alexandre Oelke  
Prof<sup>a</sup>. Dra. Caroline Nóbrega de Almeida  
Prof<sup>a</sup>. Dra. Clara Mockdece Neves  
Prof<sup>a</sup>. Dra. Claudia Maria Rinhel-Silva  
Prof<sup>a</sup>. Dra. Clecia Simone Gonçalves Rosa Pacheco  
Prof. Dr. Cristiano Marins  
Prof<sup>a</sup>. Dra. Cristina Berger Fadel  
Prof. Dr. Daniel Luciano Gevehr  
Prof. Dr. Diogo da Silva Cardoso  
Prof. Dr. Ernane Rosa Martins  
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes  
Prof. Dr. Fabricio Gomes Gonçalves  
Prof<sup>a</sup>. Dra. Fernanda Rezende  
Prof. Dr. Flávio Aparecido de Almeida  
Prof<sup>a</sup>. Dra. Francine Náthalie Ferraresi Queluz  
Prof<sup>a</sup>. Dra. Geuciane Felipe Guerim Fernandes  
Prof. Dr. Humberto Costa

Prof. Dr. Joachin Melo Azevedo Neto  
Prof. Dr. Jónata Ferreira de Moura  
Prof. Dr. José Aderval Aragão  
Prof. Me. Julianno Pizzano Ayoub  
Prof. Dr. Leonardo Augusto Couto Finelli  
Prof. Dr. Luiz Gonzaga Lapa Junior  
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva  
Prof<sup>a</sup>. Dra. Maria Cristina Zago  
Prof<sup>a</sup>. Dra. Maria Otília Zangão  
Prof. Dr. Mário Henrique Gomes  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes  
Prof. Dr. Nelson J. Almeida  
Prof. Dr. Pedro Afonso Cortez  
Prof. Dr. Reinaldo Pacheco dos Santos  
Prof. Dr. Rogério de Melo Grillo  
Prof<sup>a</sup>. Dra. Rosenery Pimentel Nascimento  
Prof. Dr. Rossano Sartori Dal Molin  
Prof. Me. Silvio Almeida Junior  
Prof<sup>a</sup>. Dra. Thays Zigante Furlan Ribeiro  
Prof. Dr. Wescley Viana Evangelista  
Prof. Dr. Willian Carboni Viana  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme

Acesse a lista completa dos Membros do Conselho Editorial em [www.editoracientifica.com.br/conselho](http://www.editoracientifica.com.br/conselho)

## Parecer e revisão por pares

Os textos que compõem esta obra passaram por avaliação do Conselho Editorial e revisão por pares externos (*Peer Review*), recebendo a devida recomendação para publicação.

**Nota:** Esta obra é fruto de um processo colaborativo, configurando-se como uma coletânea na qual os direitos autorais permanecem resguardados para os respectivos autores. Alguns capítulos podem ter origem em trabalhos anteriormente apresentados em eventos acadêmicos; no entanto, os autores foram orientados a adotar o devido rigor na prevenção do autoplágio. A responsabilidade pelo conteúdo de cada capítulo, assim como pela originalidade e integridade das informações publicadas, é inteiramente dos respectivos autores e autoras. O conteúdo da obra não reflete, necessariamente, a opinião da editora, dos organizadores ou dos membros do conselho editorial.

# APRESENTAÇÃO

Esta obra é fruto de um esforço colaborativo que reuniu professores, estudantes e pesquisadores cujo envolvimento enriqueceu significativamente as discussões neste espaço formativo. Além disso, resulta de iniciativas interinstitucionais e ações voltadas ao incentivo à pesquisa, congregando especialistas de diversas áreas do conhecimento, vinculados a Instituições de Educação Superior, públicas e privadas, em âmbito nacional e internacional.

Seu principal objetivo é fortalecer a integração entre instituições, tanto no Brasil quanto no exterior, por meio de redes de pesquisa comprometidas com a formação continuada de profissionais da educação. Para isso, busca-se a produção e a ampla disseminação do conhecimento em distintas áreas do saber.

Expressamos nossa profunda gratidão aos autores pelo empenho, comprometimento e dedicação na concepção e finalização desta obra. Esperamos que ela se consolide como um recurso didático-pedagógico valioso, atendendo às necessidades de estudantes, docentes de todos os níveis de ensino e demais interessados na temática.

**Teonis Batista da Silva**  
**Jenilton Gomes da Cunha**

# SUMÁRIO

## Capítulo 01

### **ZONEAMENTO AGROCLIMÁTICO DA BANANICULTURA: IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS APTAS AO CULTIVO NO ESTADO DO MARANHÃO**

Adriely Sá Menezes do Nascimento; Fernanda Oliveira dos Santos; Thainan Gomes Barros; Flávia Myllena dos Santos Araújo; Myrella Katlhen da Cunha de Araujo; Matheus Henrique Felipe Lima; Hívine Raquel Sousa Soares; Thayanna vieira costa; Cinthya Veras de Aguiar da Silva; Nahor Daniel Ribeiro Diniz

 10.37885/250920209 ..... 8

## Capítulo 02

### **NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO NA NUTRIÇÃO DAS PLANTAS MEDICINAIS: SINTOMAS VISUAIS DE DEFICIÊNCIAS E TEORES NUTRICIONAIS**

Júlia Caetano Vimercati; Ana Paula Silva da Silva; João Paulo Ferreira Neris; Alex Paulo Martins do Carmo; Yves Peixoto da Costa; Marta Simone Mendonça Freitas

 10.37885/251020421 ..... 24

## Capítulo 03

### **ASPECTOS NUTRICIONAIS E SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA DE CÁLCIO, MAGNÉSIO E ENXOFRE EM ESPÉCIES MEDICINAIS**

João Paulo Ferreira Neris; Alex Paulo Martins do Carmo; Júlia Caetano Vimercati; Yves Peixoto da Costa; Ana Paula Silva da Silva; Marta Simone Mendonça Freitas

 10.37885/251020422 ..... 46

## Capítulo 04

### **TÍTULO: FACTORES SOCIOECONÓMICOS Y SU IMPACTO EN LA SOSTENIBILIDAD DEL CULTIVO DE PITAHAYA EN ASOCIACIONES DE BONGARÁ, AMAZONAS (PERU)**

Harver Aldrick Luna-Maicelo; Moises Mori-Huaman; Yesica Rojas-Bravo; Leif Armando Portal-Cahuana; Liz Emperatriz Velásquez-Mauricio

 10.37885/250619443 ..... 68

**Capítulo 05****COMPORTAMENTO BIÓTICO E ABIÓTICO DO GLIFOSATO E DE SEU METABÓLITO (AMPA);**

Vicente Guilherme Handte; Valéria Ortaça Portela; Juliano Borela Magalhães; Eduarda Pereira de Pereira; Rodrigo Ferraz Ramos; Tânia Mara dos Santos

 10.37885/251220811 ..... 93

**Capítulo 06****CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO E SUAS IMPLICAÇÕES NO CULTIVO DA PALMA FORRAGEIRA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Adailson Pereira de Souza; Daniela Batista da Costa; Evaldo dos Santos Felix; Everton Dias de Negreiros; Erika Socorro Alves Graciano de Vasconcelos; Antenor Pereira de Araújo Neto; Talisson Kauê dos Santos Dantas; Lucas Eduardo Pereira Aguiar Diniz; Paulo Andrey de Lima Ferreira ; Jucilene Silva Araujo

 10.37885/251220915 ..... 112

**Capítulo 07****PHYSIOLOGICAL QUALITY, VIGOR, AND DORMANCY OF SEEDS: IMPLICATIONS FOR CROP ESTABLISHMENT: A REVIEW STUDY**

Teonis Batista da Silva; Jenilton Gomes da Cunha; Alysson Lívio Vasconcelos Guedes; Djair Alves da Mata; Flávia Cartaxo Ramalho Vilar

 10.37885/251220952 ..... 135

**SOBRE OS ORGANIZADORES** ..... 142

**ÍNDICE REMISSIVO** ..... 143

## **ZONEAMENTO AGROCLIMÁTICO DA BANANICULTURA: IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS APTAS AO CULTIVO NO ESTADO DO MARANHÃO**

**Adriely Sá Menezes do Nascimento**  
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

**Fernanda Oliveira dos Santos**  
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

**Thainan Gomes Barros**  
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

**Flávia Myllena dos Santos Araújo**  
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

**Myrella Katlhen da Cunha de Araujo**  
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

**Matheus Henrique Felipe Lima**  
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

**Hívine Raquel Sousa Soares**  
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

**Thayanna vieira costa**  
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

**Cinthy Veras de Aguiar da Silva**  
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

**Nahor Daniel Ribeiro Diniz**  
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)



# RESUMO

A bananicultura é uma atividade de grande relevância para o Brasil, que ocupa a quarta posição no ranking mundial na produção de banana. Em razão do elevado consumo hídrico da cultura, a bananeira necessita de regimes hídricos anuais de 1.900 mm, condição que se torna limitante em regiões de baixa pluviosidade, como o semiárido nordestino, assim a adoção de irrigação suplementar é indispensável para a manutenção de níveis produtivos economicamente viáveis. Dessa forma, o objetivo do trabalho foi realizar um zoneamento agroclimático para identificar os principais pontos críticos e favoráveis ao cultivo da banana no estado do Maranhão, através do uso dos elementos climáticos que compõem o balanço hídrico desenvolvido por Thornthwaite e Mather. O trabalho foi realizado com base nas características agroclimáticas de 13 estações meteorológicas convencionais dos municípios maranhenses. O mapa de deficiência hídrica foi gerado a partir do programa SURFER versão 7.0. Com base nas classes de aptidão da banana em relação às condições de déficit hídrico, percebeu-se que o estado do Maranhão apresenta limitações que inviabilizam economicamente a produção dela sob condição de sequeiro, sendo necessário a irrigação suplementar em todo o estado, principalmente no Leste Maranhense e Centro Maranhense, que representam zonas críticas.

**Palavras-chave:** *Musa spp.*; balanço hídrico; aptidão agrícola.

## INTRODUÇÃO

A banana (*Musa* spp.) pertencente à família Musaceae, é uma das frutas tropicais mais exploradas mundialmente. Devido ao seu custo relativamente baixo e ao alto valor nutritivo, é parte integrante na alimentação, principalmente, das populações de baixa renda (Al-Dairi *et al.*, 2023; Jaleel *et al.*, 2024). O Brasil produz anualmente mais de 7,0 milhões de toneladas, com área colhida de 473.464 hectares e rendimento médio de 14.993 Kg ha<sup>-1</sup>. Esses valores classificam o Brasil como o quarto produtor mundial da cultura. A produção de banana na região Nordeste se destaca pela maior área colhida do país (194.200 ha) (FAOSTAT, 2023; IBGE, 2024).

O Maranhão se destaca como um importante polo emergente da bananicultura no Nordeste brasileiro, pois apresenta condições edafoclimáticas favoráveis, como um regime pluviométrico satisfatório, temperaturas médias elevadas e alta umidade relativa do ar, que podem favorecer o cultivo durante todo o ano (Lemos *et al.*, 2014; Caldas *et al.*, 2022). Além disso, o estado possui potencial de expansão agrícola, com disponibilidade de áreas agricultáveis e crescente adoção de tecnologias de produção (Caterina *et al.*, 2013). Em 2024, o Maranhão colheu cerca de 4.691 hectares de banana, com produção aproximada de 79,2 mil toneladas e rendimento médio de 17 t ha<sup>-1</sup>, valores superiores à média nordestina (IBGE, 2024). Esses indicadores, aliados à importância socioeconômica da cultura para a agricultura familiar, reforçam a relevância de estudos voltados à melhoria da produtividade e sustentabilidade do cultivo no estado.

As produções mais relevantes de banana estão associadas a regimes hídricos anuais de 1.900 mm, com boa distribuição (Scarpore Filho *et al.*, 2016). A bananeira caracteriza-se por apresentar elevado consumo de água, o que está diretamente relacionado com suas particularidades morfológicas, bem como a elevada hidratação dos seus tecidos (Van Wesemael *et al.*, 2019; Nansamba *et al.*, 2020). Em regiões onde a precipitação é insuficiente para atender a demanda por água da cultura o uso de irrigação complementar é indispensável, onde tais condições estão associadas às regiões semiáridas, sobretudo no que diz respeito ao nordeste brasileiro (Marengo *et al.*, 2020; Almeida *et al.*, 2024).

A bananeira quando comparada a outras fruteiras tropicais apresenta considerável resposta fisiológica ao estresse hídrico (Silva *et al.*, 2021; Thingnam

*et al.*, 2023). Essa vulnerabilidade é atribuída ao seu hábito de cultivo perene, à extensa área foliar, que potencializa as perdas de água por transpiração, e ao sistema radicular superficial, que limita a absorção hídrica (Nansamba *et al.*, 2020; Brown *et al.*, 2020). Embora as respostas das plantas para as condições de seca sejam influenciadas pela quantidade de água perdida, estas também dependem do período em que a planta esteve sob a condição de estresse e também da genética do vegetal (Jangale *et al.*, 2018; Ramos *et al.*, 2019).

Adicionalmente, o déficit hídrico pode ser entendido como a incapacidade das raízes em suprir a demanda por água da parte aérea, e pode ser causado por seca, congelamento ou salinidade (Vantighem *et al.*, 2022). Neste contexto, destaca-se a seca, que se caracteriza pela indisponibilidade de água na região radicular, a qual resulta em uma menor produtividade das culturas. As regiões Nordeste e Centro-oeste do Brasil, apresentam maior recorrência de déficit hídricos, em que o semiárido nordestino se destaca como o mais vulnerável em decorrência da irregularidade pluviométrica e da reduzida precipitação anual na região (Vosselen *et al.*, 2005; Marssaro, 2016; Silva *et al.*, 2025).

Diante das perdas de produtividade impostas pelo estresse hídrico, torna-se fundamental avaliar a aptidão agrícola das áreas de cultivo para otimizar o desenvolvimento e a produtividade da bananeira (Souza *et al.*, 2024). Para isso, é imprescindível que o produtor considere as características climáticas locais, bem como as variações sazonais da região, antes da implantação da cultura (Medeiros *et al.*, 2013; Nansamba *et al.*, 2020). Nesse contexto, o estado do Maranhão, com elevado potencial de expansão da bananicultura e significativa participação na produção regional de banana, constitui uma área estratégica para a realização de zoneamentos agroclimáticos, permitindo identificar regiões críticas e favoráveis ao cultivo irrigado, com base na avaliação do déficit hídrico e outros elementos climáticos.

Dessa forma, o objetivo do trabalho foi realizar um zoneamento agroclimático para identificar os principais locais com condições favoráveis ao cultivo da banana no estado do Maranhão, através do uso dos elementos climáticos que compõem o balanço hídrico desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1955), para compor as informações necessárias à produção do mapa de aptidão agrícola.

# MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado com base nas características agroclimáticas do estado do Maranhão, situado na região Nordeste (latitude: 01°00' a 10°25' S e longitude: 41°48' a 48°60' O). O estado abrange uma área de 331.983 km<sup>2</sup> (IBGE, 2024). Limita-se a norte com o Oceano Atlântico, a leste com o Piauí, a sul e sudoeste com o Tocantins e a noroeste com o Pará. É subdividido em cinco mesorregiões geográficas: Norte Maranhense, Oeste Maranhense, Centro maranhense, Leste maranhense e Sul maranhense, as quais apresentam diferenças climáticas entre si, devido à localização do estado em uma zona de transição entre os climas semiáridos do interior do Nordeste e os climas úmidos equatoriais da Amazônia (Montes, 1997).

As exigências climáticas para a cultura da banana, referente aos estados da região Nordeste foram extraídas da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, 2016), e foram levadas em consideração duas classes de aptidão climática: baixo risco e alto risco para a variável Deficiência Hídrica Anual (DHA), a qual foi a responsável para indicar os locais de aptidão da banana dentro do estado maranhense (Tabela 1).

**Tabela 1** - Classes referente às exigências de Deficiência Hídrica Anual (DHA) tolerável para a Banana.

| Classes     | Condição              | Sistema de Possível Cultivo |
|-------------|-----------------------|-----------------------------|
| Baixo Risco | DHA ≤ 200 mm          | Sequeiro                    |
|             | 200 < DHA ≤ 350       | Várzea                      |
| Alto Risco  | 350 mm < DHA ≤ 700 mm | Irrigação complementar      |
|             | DHA > 700 mm          | -                           |

Fonte: Embrapa (2016).

Foi elaborado um banco de dados com os valores estimados da Temperatura média mensal, precipitação mensal, referente as 13 estações meteorológicas convencionais dos municípios maranhenses, baseado no período de 1981 a 2010 (Tabela 2), fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2010). Para cada ponto climatológico foi calculado o balanço hídrico climatológico, baseado no método de Thorthwaite e Mather (1955). As variáveis de entrada foram temperatura do ar (°C) e precipitação pluvial mensal (mm), por meio delas determinou-se a Evapotranspiração potencial, deficiência e excedente hídrico

do solo (mm), para tal, tomou-se como valor de capacidade de água disponível no solo (CAD) 125 mm.

O mapa de deficiência hídrica foi elaborado utilizando o software SURFER® versão 7.0, por meio da interpolação dos dados disponíveis. A partir desse procedimento, foi gerada a superfície espacial, a qual permitiu a delimitação das áreas com diferentes níveis de deficiência hídrica, possibilitando a identificação das regiões aptas ou não ao cultivo da bananeira no estado do Maranhão.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O zoneamento não mitiga os riscos climáticos ao cultivo das culturas, entretanto é ferramenta fundamental para que se conheça as condições de determinada região e sua aptidão ao cultivo da cultura desejada, bem como estratégias para superar possíveis desafios frente ao estabelecimento de plantações em regiões onde o risco de cultivo é alto (Caldana *et al.*, 2020).

Os estados do Nordeste apresentam boa aptidão ao cultivo da bananeira, pois apresentam temperatura média satisfatória ao seu desenvolvimento (Embrapa, 2016). No entanto, é essencial analisar essa variável, pois temperaturas abaixo de 15°C paralisam o crescimento e acima de 35°C causam desidratação e fendilhamento dos tecidos (Souza *et al.*, 2024). Ao observar os valores médios de temperatura, aproximadamente 27,4 °C, com mínimas e máximas de 23 °C e 28 °C, respectivamente (Tabela 2), pode-se inferir que o estado do Maranhão não apresenta limitações térmicas significativas para o cultivo da bananeira. A temperatura uniforme ao longo do ano e dentro dos limites exigidos para a cultura contribui positivamente sobre os processos respiratórios e fotossintéticos da planta.

**Tabela 2** - Normais climatológicas de 13 estações no estado do Maranhão.

| Municípios     | Latitude | Longitude | T (°C) | P (mm) | ETP     | Déficit hídrico | Excesso hídrico |
|----------------|----------|-----------|--------|--------|---------|-----------------|-----------------|
| Alto Parnaíba  | -9,10    | -45,93    | 26,8   | 1359,4 | 1707,91 | 567,4           | 218,9           |
| Bacabal        | -4,22    | -44,77    | 28,5   | 1807,6 | 2158,43 | 909,0           | 558,2           |
| Balsas         | -7,53    | -46,03    | 27,1   | 1232,5 | 1771,50 | 662,7           | 123,7           |
| Barra do Corda | -5,50    | -45,23    | 27,0   | 1177,1 | 1764,26 | 740,2           | 153,1           |
| Carolina       | -7,34    | -47,46    | 27,5   | 1724,8 | 1868,83 | 592,1           | 451,1           |

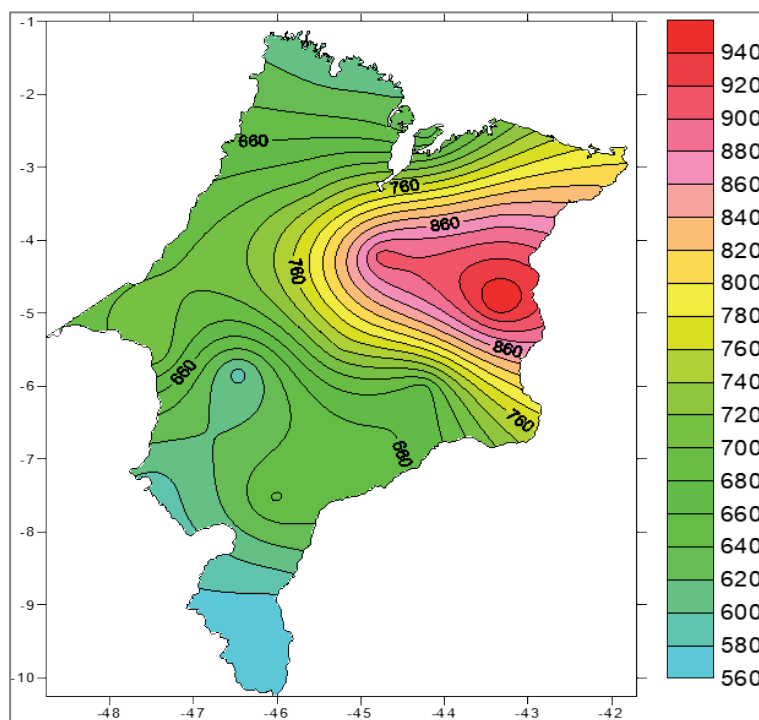
| Municípios | Latitude | Longitude | T (°C) | P (mm) | ETP     | Déficit hídrico | Excesso hídrico |
|------------|----------|-----------|--------|--------|---------|-----------------|-----------------|
| Caxias     | -4,87    | -43,35    | 28,2   | 1517,9 | 2085,23 | 960,5           | 393,2           |
| Chapadinha | -3,75    | -43,35    | 27,8   | 1674,5 | 1962,55 | 872,6           | 584,5           |
| Colinas    | -6,03    | -44,25    | 27,1   | 1315,0 | 1785,01 | 669,5           | 199,5           |
| Grajaú     | -5,82    | -46,47    | 26,4   | 1207,6 | 1623,30 | 591,9           | 176,2           |
| Imperatriz | -5,53    | -47,48    | 27,8   | 1516,3 | 1935,29 | 719,8           | 300,8           |
| São Luís   | -2,53    | -44,22    | 27,4   | 2199,9 | 1837,75 | 628,4           | 990,6           |
| Turialvo   | -1,67    | -45,37    | 27,4   | 2197,5 | 1834,26 | 610,8           | 974,1           |
| Zé Doca    | -3,27    | -45,65    | 27,8   | 1854,1 | 1949,5  | 706,2           | 610,8           |

Em que: **T**: temperatura em graus célsius; **P**: precipitação em milímetros; **ETP**: evapotranspiração potencial.

**Fonte:** INMET (2010).

Embora o estado do Maranhão apresente boas condições térmicas para o cultivo da banana, por outro lado, baseado nas condições hídricas esta situação não se repete. Ao considerar as classes de aptidão da banana em relação as condições de déficit hídrico, o estado possui limitações hídricas que tornam o cultivo da banana pouco satisfatório economicamente ou até mesmo inviável em condição de sequeiro, haja vista os valores de déficit hídrico no estado, variam de 560 mm a 760 mm nas regiões norte, oeste e sul maranhense e chega até 940 mm nas regiões do centro e leste maranhense onde a situação é mais severa (Figura 1).

**Figura 1** - Mapa de de Deficiência Hídrica Anual (DHA) em mm do estado do Maranhão.



Fonte: Autores (2024).

Observa-se, que os limites de deficiência hídrica no estado são elevados quando se considera o limite de 200 mm exigidos pela cultura para produção em condições de sequeiro e nesta perspectiva deve-se considerar que o plantio da cultura da banana deva ser realizado sob irrigação.

O déficit hídrico reduz o potencial hídrico foliar e compromete a turgidez celular (Bhattacharya, 2021). Na bananeira, isto resulta em enrolamento foliar e redução da área foliar fotossinteticamente ativa, que limita a captação de luz (Turner *et al.*, 2007). A queda de turgor na bainha foliar é um dos primeiros sinais de ajuste osmótico falho (Mahouachi, 2009).

A redução de água força a planta a fechar os estômatos como mecanismo de defesa para evitar a transpiração excessiva (Hasanuzzaman *et al.*, 2023). Contudo, esta ação limita a entrada de  $\text{CO}_2$ , causando estresse não-estomático e a inibição da atividade da RuBisCO (Machado *et al.*, 2024). A produtividade, em última instância, cai devido à baixa assimilação de carbono (Taiz e Zeiger, 2009).

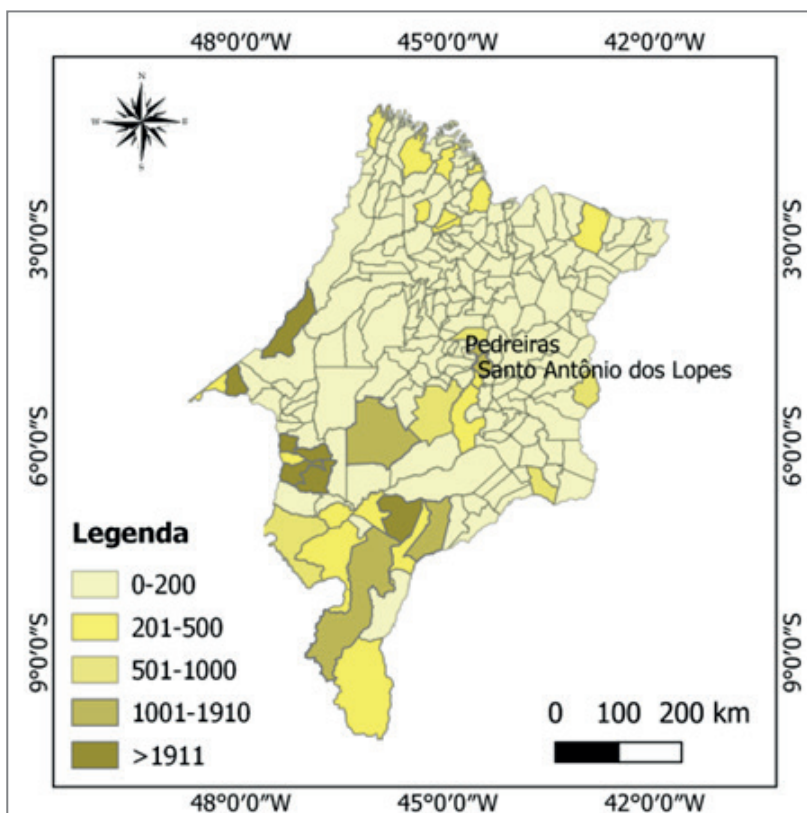
O estresse hídrico, se ocorrer nas fases críticas (diferenciação floral e enchimento de fruto), compromete o número de pencas, o peso dos frutos e a qualidade da colheita (Donato, 2013). A interrupção no fornecimento hídrico pode induzir a 'morte' do meristema e a falha de desenvolvimento da inflorescência (Turner; Thomas, 1998).

A irrigação torna-se peça fundamental para a superação deste cenário de deficiência hídrica, uma vez que a ausência de água em quantidade suficiente interfere negativamente no desenvolvimento das plantas, que pode ocasionar problemas na fase de diferenciação floral e consequentemente na frutificação sobretudo na bananeira, que necessita de pelo menos 1200 mm anuais, o que faz da irrigação nos cultivos de banana no estado, elemento indispensável, pois apesar de apresentar bons volumes de precipitação anualmente, estes não estão bem distribuídos (Araújo, 2014; Moreno *et al.*, 2016).

No estado do Maranhão, os municípios de Pedreiras e Santo Antônio dos Lopes, localizados em zona de alto risco para a produção de banana, com alto déficit hídrico ( $DHA > 700$  mm), são considerados uns dos principais produtores da cultura no estado. No ano de 2024 a produtividade foi mais de 1.000 toneladas (Figura 2), com uma produção de R\$1.865.000 e R\$128.000, respectivamente (IBGE, 2024). Alcançar níveis satisfatórios de produtividade não se configura como um desafio insuperável. Contudo, as condições de déficit hídrico evidenciam a indispensabilidade da irrigação suplementar como estratégia para assegurar a viabilidade produtiva da cultura.



**Figura 2** - Produção em toneladas da banana no estado do Maranhão em 2022.



Fonte: IBGE (2024), Mapa: Autores (2025).

Embora a produção de banana nos municípios de Pedreiras e Santo Antônio dos Lopes seja elevada em relação ao total do estado do Maranhão, esses volumes são pequenos quando comparados à produção nacional. Em 2024, por exemplo, o município de Santa Maria da Boa Vista (PE) produziu 210.000 toneladas da fruta, sendo atualmente o maior produtor do país (IBGE, 2024).

O Maranhão condiciona um alto risco ao cultivo da banana, principalmente devido à disponibilidade hídrica, mas isso não inviabiliza a produção. A adoção de irrigação suplementar permite o êxito (Moreno *et al.*, 2016). Souza *et al.* (2024), destacam que a irrigação suplementar é fundamental para contornar a carência hídrica, como já ocorre em polos de produção no Nordeste brasileiro, e assim, viabiliza a produção em escala comercial mesmo em áreas com limitações hídricas.

Em regiões semiáridas ou de alta demanda evaporativa, como o Norte Maranhense, o uso de irrigação por gotejamento ou microaspersão é superior à aspersão convencional. Estes métodos minimizam perdas por evaporação e desvio pelo vento, maximizando a água disponível na zona radicular superficial da bananeira (Coelho *et al.*, 2018).

O simples fornecimento de água não garante a eficiência de uso da água. O manejo deve ser baseado no Balanço Hídrico do Solo (BHCS) em escala semanal, utilizando dados de ETP (Evapotranspiração Potencial) e Kc (coeficiente de cultura) ajustados para as condições locais (diferentes fases fenológicas e variabilidade sazonal) (Amorim Neto, 1989). O uso de sensores de umidade no solo (tensiômetros ou TDR) pode refinar este manejo (Diniz, 2017), que evita tanto o estresse (subirrigação) quanto o desperdício (superirrigação). Além disso, a irrigação deve ser integrada à nutrição (fertirrigação) (Pereira *et al.*, 2024).

A necessidade de irrigação no Maranhão deve vir acompanhada de outras estratégias de manejo conservacionista para otimizar o uso da água e reduzir os riscos. No Norte do Maranhão, os solos arenosos apresentam menor capacidade de retenção de água. Isso, associado a temperaturas elevadas, resulta em maior evapotranspiração e exige práticas de manejo que reduzam essas perdas (Teixeira *et al.*, 2020).

Estratégias adicionais de manejo incluem o uso de cobertura do solo com resíduos vegetais (*mulching*) ou culturas de cobertura, o que diminui a evaporação direta e melhora a infiltração. A cobertura do solo com palha de resíduos pode reduzir a evaporação direta (Pereira e Castro, 2024). O *mulching* pode diminuir a perda de água do solo, além de moderar a temperatura superficial do solo e controlar plantas daninhas (Silva *et al.*, 2025).

Em solos arenosos, a adição constante de matéria orgânica aumenta a capacidade de troca catiônica (CTC) e a retenção hídrica (Ciotto *et al.*, 2003). O aumento de no teor de matéria orgânica pode elevar significativamente a capacidade de água disponível (CAD) (Correia *et al.*, 2004), ajudando a amortecer o pico do déficit hídrico entre as irrigações ou as chuvas.

A seleção de cultivares mais tolerantes à seca também pode contribuir para a resiliência do sistema produtivo (Costa *et al.* 2024). Para mitigar o risco, o produtor deve considerar cultivares que apresentam maior tolerância a curtos períodos de seca (Ferrão *et al.*, 2016) ou que demandam menos água

em fases específicas (Costa *et al.*, 1999). O zoneamento oferece a base, mas a escolha da cultivar deve alinhar o potencial produtivo com a resiliência climática da região mapeada.

Estudos demonstram que, mesmo em áreas classificadas como aptas, o sucesso da produção depende de práticas complementares de manejo. No cultivo de melão em Mato Grosso, o manejo adequado da irrigação mostrou-se indispensável para garantir bons resultados (Machado *et al.*, 2017). De forma semelhante, Rodrigues *et al.* (2024) destacam que, embora o zoneamento indique épocas e locais de plantio mais favoráveis para fruteiras tropicais, a produtividade depende da adoção de estratégias de manejo adicionais, e reforça que o zoneamento serve como ferramenta de planejamento, e não como garantia de produção. Esses achados corroboram que, em regiões como o Maranhão, caracterizadas por solos arenosos e variabilidade hídrica, o zoneamento oferece subsídios valiosos, mas a implementação de irrigação e práticas adequadas de manejo do solo continua essencial para reduzir riscos e aumentar a produtividade.

## CONCLUSÃO

A análise do balanço hídrico de Thornthwaite e Mather permitiu identificar as áreas mais favoráveis ao cultivo da banana no estado do Maranhão. O déficit hídrico anual variou de 567,4 a 960,5 mm, evidenciando condições elevadas que restringem o cultivo em sequeiro ou em várzea, especialmente nas regiões Leste e Centro Maranhense. Nenhuma área do estado apresentou aptidão para produção sem irrigação, sendo que 100% do território estadual requer irrigação suplementar aliada com outras estratégias de manejo para viabilizar a produção da banana.

## REFERÊNCIAS

Al-Dairi, M.; Pathare, P. B.; Al-Yahyai, R.; Jayasuriya, H.; & Al-Attabi, Z. Postharvest quality, technologies, and strategies to reduce losses along the supply chain of banana: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 134, p. 177-191, 2023.

Almeida, F. P.; Santos, M. R.; Coelho, E. F.; Donato, S. L. R.; Oliveira, P. M.; Reis, J. B. R. S.; Carvalho, L. A. C.; Lima, J. C. L.; Santos, D. L.; C., F. F. Irrigação de bananeira 'Prata-Anã' com secagem parcial da zona radicular em ambiente semiárido. **Agronomy**, v. 14, n. 8, p. 1820, 2024.

Amorim Neto, M. da S. Balanço hídrico segundo Thornthwaite & Mather (1955). Embrapa (Comunicado técnico). n. 34, p.1-18, 1989.

Araújo, T. S. Influência de elementos agrometeorológicos no rendimento da bananeira. Tese de Doutorado: Doutorado em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande - **UFCG**. 2014.

Bhattacharya, A. Efeito do Déficit Hídrico no Solo no Crescimento e Desenvolvimento de Plantas: Uma Revisão. Em: Déficit Hídrico no Solo e Problemas Fisiológicos em Plantas. **Springer**, 2021.

Brown, S.; Carpentier, R. S. Melhoramento de bananas resistentes ao clima. C. Kole (Ed.). *enomic designing of climate-smart fruit crops*, **Springer**, Cham, pp. 91-115. 2020.

Caldana, N.; Alves, D. S.; Martins, J. Zoneamento de risco agroclimático da goiabeira (*Psidium guajava* L.) na bacia do rio Paraná 3. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 7, n. 2, p. 40-48, 2020.

Caldas, A. S.; Ottati, A. M. A. A.; Rocha, S. F.; Vieira, K. R. S.; & Lisboa-Júnior, E. R. Análise do comportamento e distribuição geográfica da fruticultura no estado do Maranhão. **Open Science Research** VII, p. 46-60, 2022.

Caterina, F.; Victoria, D. D. C.; Batistella, M.; & Francesco E. Caterina, B. C. Análise da expansão de áreas agrícolas no sul do Estado do Maranhão. **6º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC**, 2013.

Ciotta, M. N.; Bayer, C.; Fontoura, S. M. V, Ernani, P.R, Albuquerque, J.A. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, v. 33, p. 1161-1164, 2003.

Coelho, E. F.; Santos, M. R.; Donato, S. L. R.; Oliveira, P. M. Irrigação da bananeira cultivar BRS Princesa. Cruz das Almas, 13p. **Circular técnico**, 126, 2018.

Correia, J. R.; Reatto, A.; Spera, S. T. Capítulo 1- Solos e suas relações com o uso e o manejo. Cerrado: correção do solo e adubação/ Editores Técnicos Djalma Martinhão Gomes de Sousa, Edson Lobato. – 2. ed. – Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2004. 416 p.

Costa, A. L.; Ferri, A. G.; Triguilho, G.; Rangel, O. J. P.; Vieiram, R.; Souza, M. N., ... & Souza, M. N. I. F. E. S. Contribuições da cultura da banana em Sistemas Agroflorestais no Espírito Santo. Tópicos em Gestão Ambiental. Volume II Maurício Novaes Souza (Org.), 2024, Mérida Publishers.

Costa, E. L., Maeno, P; Albuquerque, P. E. P. Irrigação da Bananeira. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.20, n.196, p.67-72, 1999.

Diniz, Anibal Mantovani. Sistema automatizado de aquisição, em tempo real, de umidade e temperatura do solo na irrigação. 2017. 60 p. Tese (Doutorado de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2017.

Donato, S.L.R.; Coelho, S.F.; Marques, P.R.R.; Arantes, A.M.; Santos, M.R.; Oliveira, P.M. Ecofisiologia e eficiência de uso da água em bananeira. In: Reunião Internacional da Associação para a Cooperação em Pesquisa e Desenvolvimento Integral das Musáceas (Bananas e Plátanos), 20. 2013, Fortaleza, CE.

EMBRAPA. **Bases de dados** – Banana (2016). Disponível em: [http:// www.cnpmmf.embrapa.br/Base\\_de\\_dados/index\\_pdf/dados/brasil/banana/b1\\_banana.pdf](http://www.cnpmmf.embrapa.br/Base_de_dados/index_pdf/dados/brasil/banana/b1_banana.pdf)>. Acesso em: 13 Jul 2024.

Ferrão, R. G.; Moreira, S. O.; Ferrão, M. A. G.; Riva, E. M.; Arantes, L. D. O.; Costa, A.; & Galvêas, P. A. O. Genética e melhoramento: desenvolvimento e recomendação de cultivares com tolerância à seca para o Espírito Santo. **Incaper em Revista**, Vitória, v. 6 e 7, n. 4, p. 51-71, 2016.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT. (2023). Food and agriculture organization of the United Nations Production of bananas: top 10 producers. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>. Acesso em: 21 jan. 2025.

Hasanuzzaman, M. d.; Zhou, M.; Sergey, S. "Como a densidade estomática e a transpiração residual contribuem para a tolerância ao estresse osmótico?" **Plants**, v. 12, n. 3, 2023.

IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística** (2024). Malhas territoriais. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>>. Acesso em 02 de jan de 2025.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, SIDRA (2024). Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>>. Acesso em: 13 jul 2025.

INMET. Normais climatológicas do Brasil. 2010.

Jaleel, A. K.; Jacob, S.; Ghosh, S. M.; Suresh, A. A Comprehensive Review on Nutrient Profile and Pharmacological Benefits of *Musa paradisiaca*. **Sciences of Phytochemistry**, v. 3, n. 2, p. 123-143, 2024.

Jangale, B. L.; Chaudhari, R. S.; Azeez, A.; Sane, P. V.; Sane, A. P.; & Krishna, B. Independent and combined abiotic stresses affect the physiology and expression patterns of DREB genes differently in stress-susceptible and resistant genotypes of banana. **Physiologia plantarum**, v. 165, n. 2, p. 303-318, 2019.

Lemos, J. J. S. Maranhão; Estado (ainda) Rico em Recursos Naturais com População Empobrecida. In: JOSÉ LUCIO ALVES SILVEIRA. (Org.). Ensaio sobre a economia maranhense. 1 Ed. São Luís - Maranhão: CORECON-MA/UFMA, 2014, v. 1, p. 171-230.

Machado T. S.; Neves, S. M. A. S.; Seabra Junior, S. Zoneamento agroclimático do melão na região sudoeste de Mato Grosso. **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 13, v. 20, p. 169, 2017.

Machado, D. F. S. P.; Erismann, N. M.; Boza, Y. E. Á. G.; Gondim-Tomaz, R. M. A.; Machado, E. C.; & Ribeiro, R. V. O. O déficit hídrico modifica a descarboxilação nas células da bainha do feixe vascular e reduz a atividade carboxilase da Rubisco em cana-de-açúcar. **BioEnsaio**, v. 2, p. e024003-e024003, 2024.

Mahouachi, J. Changes in nutrient concentrations and leaf gas exchange parameters in banana plantlets under gradual oil moisture depletion. **Scientia Horticulturae**, v.120, p.466-469, 2009.

Marengo, J. A.; Cunha, A. P. M. A.; Nobre, C. A.; Ribeiro Neto, G. G.; Magalhães, A. R.; Torres, R. R.; Sampaio, G.; Alexandre, F.; Alves, L. M.; Quartas, L. A. Avaliação da seca nas terras áridas do Nordeste do Brasil sob aquecimento regional superior a 4 °C. **Nat. Perigos**, v. 103, p. 2589–2611. 2020.

Marssaro, A. L. **Seleção in vitro de genótipos de bananeira para tolerância ao déficit hídrico**. 2016. Cruz das Almas – BA, 2016. Disponível em: <https://www1.ufrb.edu.br/pgrecvegetais/dissert2/category/27-2016%3Fdownload%3D190:alice-lichs-marssaro+%&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>. Acesso em: 16 jul 2024.

Medeiros, R. D. Balanço hídrico climatológico e classificação climática para a área produtora da banana do município de barbalha, CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza - CE, 2013.

Montes, M. L. Zoneamento Geoambiental do Estado do Maranhão. **Diretrizes Gerais para a Ordenação territorial**. 1997.

Moreno, N. B. C.; da Silva, A. A.; da Silva, D. F. Análise de variáveis meteorológicas para indicação de áreas agrícolas aptas para banana e caju no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 01, p. 001-015, 2016.

Nansamba, M.; Sibiyi, J.; Tumuhimbise, R.; Karamura, D.; Kubiriba, J.; Karamura, E. Breeding banana (*Musa* spp.) for drought tolerance: A review. **Plant Breeding**, v. 139, n. 4, p. 685-696, 2020.

Pereira, A. R.; Castro, D. R. Agricultura sintrópica: manejo sustentável da Caatinga. **Revista Sertão Sustentável**, v. 6, n. 1, 39-59, 2024.

Pereira, B. L. da S.; Coelho, E. F.; Oliveira, P. M. de; Lima, J. C. L.; Reis, J. B. R. da S.; Barros, D. L.; Amorim, I. C. da S.; & Carvalho, L. A. C. de. Diferentes estratégias de fertirrigação e seus efeitos no crescimento, produtividade, condutividade elétrica e nitrato do solo com a bananeira. **Caderno Pedagógico**, v. 21, n.8, e7178, 2024.

Ramos, L. M.; Meneses, P. I.; de Oliveira Reis, F.; da Silva, B. V.; da Silva Reis, I. Ecophysiology of banana seedlings grown in different water regimes. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 2, p. 440-447, 2019.

Rodrigues, A. P.; Vicente, M. R.; Santos, R. M. Zoneamento edafoclimático para espécies florestais na microrregião de Salinas/MG. **Revista Caribeña de Ciências Sociales**, v. 13, n. 11, p. 1-24, 2024.

Scarpore Filho, J. A.; Silva, S. R. Da; Santos, C. B. Da C.; Novoletti, G. (2016) **Banana cultivation and production**. ESALQ-USP: Piracicaba, SP. 1. ed., 84 p.

Silva Caldana, N. F.; Ferreira, L. G. B.; Zaccheo, P. V. C.; & Augusto, M. Zoneamento Zoneamento agrícola de risco climático da bananeira (*musa* sp) na Bacia Hidrográfica do Rio Paraná 3. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 01, p. 407-419, 2021.

Silva, A. D. G.; Lopes, R. F.; de Lima Fernandes, I. W.; de Araújo Pereira, G. V.; Silva, C. L. C., Reis, J. S.; & Lucena, R. L. Mudanças climáticas e variabilidade termopluiométrica na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 36, p. 533-559, 2025.

Silva, N. M.; dos Santos Viana, J.; Machado, D. C.; Nascimento, K. P. M.; Alves, A. F.; Sousa, P. F. C.; & da Silva, C. M. Efeito de mulching alternativo e enraizador na produtividade da alface crespa do tipo cv. elba. **Revista aracê**, v. 7, n. 3, p. 12105-12116, 2025.

de Olanda Souza, G. H.; & de Oliveira Aparecido, L.; Moraes, J. R. S. Zoneamento edafoclimático para a cultura da bananeira no Brasil: diagnóstico atual e tendências climáticas futuras. **International Journal of Enviromental Resilience Research and Science (IJERRS)**, v. 3, n. 2, p. 1-8, 23 out. 2024.

Taiz, Lincoln; Zeiger, Eduardo. **Fisiologia Vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

Teixeira, W. G.; Martins, A. L. S.; Lumberas, J. F. Retenção de água em amostras de solos do XIII RCC - Maranhão. In: **Guia de Campo da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC do Maranhão**, p. 286-289. Embrapa Solos, 2020.

Thingnam, S.; Lourembam, D. S.; Tongbram, P. S.; Lokya, V.; Tiwari, S.; Khan, M. K.; Pandey, A.; Hamurcu, M.; Thangjam, R. Uma revisão de perspectiva sobre a compreensão da tolerância ao estresse hídrico em recursos genéticos de banana selvagem do nordeste da Índia. **Genes (Basel)**, v. 14, n. 2, p. 370, 2023.

Thorntwaite, C.W.; Mather, J.R. The water balance. **Publications in Climatology**. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 104p. 1955

Turner, D. W.; Thomas, D. S. Measurements of plant and soil water status and their association with leaf gas exchange in banana (*Musa* spp.): a laticiferous plant. **Scientia Horticulturae**, v.77, p. 177-193, 1998.

Turner, D. W., Fortescue, J. A., & Thomas, D. S. Environmental physiology of the bananas (*Musa* spp.). **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, n. 4, p. 463–484, 2007.

Van Wesemael, J.; Kissel, E.; Eyland, D.; Lawson, T.; Swennen, R.; Carpentier, S. Using growth and transpiration phenotyping under controlled conditions to select water efficient banana genotypes. **Frontiers in plant science**, v. 10, p. 352, 2019.

Vantyghem, M.; Merckx, R.; Stevens, B.; Hood-Nowotny, R.; Swennen, R.; Dercon, G. O potencial das razões de isótopos estáveis de carbono e da temperatura foliar como indicadores de estresse hídrico em bananeiras em condições de campo. **Agricultural Water Management**, v. 260, p. 107247, 2022.

Vosselen, V. A.; Verplancke, H.; Ranst, V. E. Assessing water consumption of banana: Traditional versus modeling approach. **Agricultural Water Management**, v.74, p.201-218, 2005.

## **NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO NA NUTRIÇÃO DAS PLANTAS MEDICINAIS: SINTOMAS VISUAIS DE DEFICIÊNCIAS E TEORES NUTRICIONAIS**

**Júlia Caetano Vimercati**

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF)

**Ana Paula Silva da Silva**

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF)

**João Paulo Ferreira Neris**

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF)

**Alex Paulo Martins do Carmo**

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF)

**Yves Peixoto da Costa**

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF)

**Marta Simone Mendonça Freitas**

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF)



# RESUMO

As plantas medicinais têm papel de destaque na medicina tradicional e na farmacologia moderna no Brasil, sendo amplamente usadas no tratamento de enfermidades e como fonte de compostos bioativos para as indústrias farmacêutica, cosmética e alimentícia. A nutrição mineral é fundamental ao crescimento, desenvolvimento e qualidade das plantas medicinais, influenciando a biomassa e o acúmulo de metabólitos secundários. Entre os macronutrientes, nitrogênio, fósforo e potássio destacam-se pela alta demanda e sintomas típicos quando deficientes. A carência de nitrogênio causa clorose em folhas velhas; a de fósforo, crescimento limitado e coloração arroxeada; e a de potássio, clorose marginal evoluindo para necrose. Este capítulo aborda sintomas de deficiência de N, P e K em plantas medicinais, com base em estudos, priorizando espécies do Rénisus e outras de relevância terapêutica. A literatura mostra que, das 71 espécies listadas, apenas 12,67% têm estudos sobre sintomas visuais de deficiência, e nem todos detalham teores de nutrientes. Ressalta-se que sintomas e exigências variam entre espécies.

**Palavras-chave:** Macronutrientes; RENISUS; diagnose visual.

## INTRODUÇÃO

As plantas medicinais constituem uma ampla fonte de compostos químicos, orgânicos e inorgânicos, com grande potencial de uso pelo ser humano. Frequentemente, são empregadas como terapias complementares, seja pela influência de práticas tradicionais milenares ou pela transmissão cultural entre gerações (MACHADO *et al.*, 2014; DIAS *et al.*, 2018). Além do valor medicinal, também despertam interesse científico pela possibilidade de descoberta de novos fármacos. Os avanços científicos e tecnológicos em saúde consolidaram o reconhecimento do valor terapêutico das plantas medicinais, que hoje são amplamente estudadas e utilizadas sob orientação de profissionais de diferentes áreas (LORENZI; MATOS, 2002).

Para que as plantas expressem seu máximo potencial de crescimento e de síntese de metabólitos secundários é fundamental uma nutrição mineral equilibrada. Os nutrientes minerais atuam em processos fisiológicos essenciais, como fotossíntese, respiração, divisão e diferenciação celular, além de estarem diretamente envolvidos na regulação metabólica que influencia a produção e a qualidade dos princípios ativos (BORIN *et al.*, 2013). Por outro lado, desordens nutricionais, proporcionam um elevado comprometimento no desenvolvimento e consequentemente na produção de qualquer cultura (MALAVOLTA, 1996).

Desse modo, a identificação da deficiência nutricional em plantas é um aspecto essencial da nutrição mineral das plantas, pois possibilita compreender as limitações que comprometem o crescimento e o desenvolvimento das plantas (SOUZA *et al.*, 2016). Entre os métodos disponíveis, a diagnose visual é uma das abordagens mais utilizadas, por permitir a observação direta de sintomas característicos, como cloroses, necroses, deformações e alterações no desenvolvimento da planta, mas precisa também ser acompanhada pela análise foliar, análise de solo e histórico da área.

A diagnose visual consiste em caracterizar, descrever e/ou fotografar, mais precoce e detalhadamente possível, os sintomas de deficiência/toxidez na planta-problema e compará-los com os sintomas-padrões de deficiência/toxidez para cada nutriente descrito na literatura, para aquela espécie ou variedade, se possível (FONTES, 2001).

Esses sintomas resultam da ausência ou do desequilíbrio de nutrientes específicos e, quando corretamente interpretados, fornecem informações importantes para ajustes de manejo e adubação. Além de sua aplicação prática no campo, a diagnose visual também contribui como ferramenta de ensino e pesquisa, auxiliando na caracterização das exigências nutricionais de diferentes espécies vegetais (FERREIRA *et al.*, 2012; NUNES *et al.*, 2016).

O presente capítulo teve como objetivo investigar os sintomas visuais de deficiências nutricionais de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) em espécies medicinais listadas no RENISUS, bem como em outras plantas amplamente conhecidas por suas propriedades terapêuticas. O levantamento bibliográfico foi realizado entre agosto e setembro de 2025, nas bases de dados Periódicos CAPES e Google Scholar.

Foram adotados como critérios de inclusão artigos que abordassem a omissão nutricional de Nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). Como critérios de exclusão, descartaram-se trabalhos que não apresentavam imagens para a caracterização dos sintomas, bem como aqueles com fotografias em baixa resolução ou em preto e branco.

## **Plantas Medicinais**

As plantas compõem um rico conjunto de moléculas químicas com diferentes potenciais de exploração, sendo fortemente utilizadas em tratamentos caseiros e na constituição de medicamentos e fármacos (JÜTTE *et al.*, 2017; WEGENER, 2017; DIAS *et al.*, 2018; PEDROSO *et al.*, 2021).

A utilização de plantas para objetivos humanos ocorre a centenas de anos e com diversos objetivos, mas principalmente para cura e tratamento de enfermidades. (FIRMO *et al.* 2012; PATRÍCIO *et al.* 2022). Dentre a biodiversidade da flora encontram-se plantas denominadas de “medicinais”, por serem utilizadas em culturas tradicionais como remédios caseiros, além de serem a matéria-prima para a fabricação de fitoterápicos e outros medicamentos (LEÃO *et al.*, 2007; FIRMO *et al.* 2012).

Observando o uso popular das plantas medicinais, a ciência busca descobrir e utilizar esses recursos, para o bem da população, embasado em pesquisas para a produção de medicamentos e fármacos baseados em culturas

tradicionais (ACCORSI, 2000; FIRMO *et al.* 2012). Essas plantas apresentam uma forte contribuição para o desenvolvimento de novos medicamentos e estratégias terapêuticas a partir de seus metabólitos secundários, como os óleos essenciais (FIRMO *et al.* 2012).

A segurança na utilização e eficácia das plantas medicinais depende da identificação correta das plantas e quais partes podem ser utilizadas, seu modo de preparo e as formas de uso e dose apropriada (COLET *et al.*, 2015; PEDROSO *et al.*, 2021).

Em 2009 foi lançado, pelo Programa Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos, a Relação Nacional de Plantas Medicinais de Interesse ao SUS (RENISUS). Trata-se de uma lista de 71 plantas prioritárias para as pesquisas e desenvolvimentos de fitoterápicos disponíveis para uso da população, com segurança e eficácia (BRASIL, 2009).

Segundo Cherobin *et al.*, (2022) o Brasil obteve um importante avanço no campo das políticas públicas, programas e legislação com vistas à valorização das plantas medicinais e fitoterápicos e inserção na rede pública de saúde. Neste sentido, observa-se um aumento da demanda por cultivo de plantas medicinais, a fim de garantir matéria-prima de qualidade e em quantidade que seja capaz de suprir este mercado, além de proporcionar alternativa de renda para o agricultor familiar.

## **Nutrição Mineral das Plantas**

A nutrição de plantas é o ramo da ciência que estuda como as plantas obtêm, transportam, assimilam e utilizam os nutrientes, que são essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas.

O manejo adequado dos nutrientes é um fator chave no cultivo de qualquer planta, e não seria diferente para as plantas medicinais, a fim de se maximizar a produção de biomassa, bem como a produção dos princípios ativos, pois a ausência ou excesso do nutrientes essenciais, podem determinar o rumo das rotas metabólicas e modificar a composição dos princípios ativos na rota dos terpenos (FREITAS *et al.*, 2004; FREITAS *et al.*, 2020; PEÇANHA *et al.*, 2021), na rota dos compostos fenólicos (FREITAS *et al.*, 2008) e compostos nitrogenados (FREITAS *et al.*, 2016; MONNERAT *et al.*, 2018, SILVA *et al.*, 2021).

## Nitrogênio nas plantas

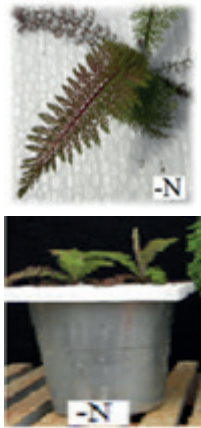
O nitrogênio é o nutriente mais requerido pelas plantas por estar relacionado a formação de estruturas de sustentação, metabolismo e genética. Sua deficiência é facilmente identificada pois há inibição do crescimento e redução da fotossíntese (HASSAN *et al.*, 2005; HANSEL *et al.*, 2021).

Este nutriente é absorvido principalmente nas formas inorgânicas, nitrato e amônio. Depois de absorvido pela planta, o nitrato é reduzido por enzimas assimiladoras para a forma orgânica e incorporada pelas plantas (JALLOH *et al.*, 2009; HANSEL *et al.*, 2021).

Na deficiência deste nutriente as plantas apresentam características como clorose, surgindo primeiro nas folhas mais velhas. Em seguida ocorre a necrose das folhas, comprometendo por completo o processo fotossintético (MIYAKE, 2016; SILVA, 2022) e o crescimento e desenvolvimento vegetal (NATALE *et al.*, 2018; SILVA, 2022).

Dessa forma, para facilitar a compreensão dos efeitos da deficiência de nitrogênio em plantas medicinais, elaborou-se a Tabela 1, que reúne algumas espécies de plantas medicinais, os principais sintomas associados à limitação desse nutriente e imagens comparativas. As imagens, extraídas de diferentes autores, têm como finalidade ilustrar e compreender os efeitos da carência desse nutriente no desenvolvimento vegetal. Essa tabela permite visualizar, de maneira clara, os sintomas característicos das deficiências nutricionais de nitrogênio em comparação as plantas medicinais cultivadas com condições ideais e seus respectivos teores nutricionais.

**Tabela 1** - Sintomas visuais e teores de nitrogênio em plantas medicinais.

| Nome científico                             | Sintoma visual de deficiência de N                                                                                      | Tratamento completo                                                                                                     | Referência               |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| <i>Achillea millefolium</i> L.              |  <p>13,5 g kg<sup>-1</sup> de N</p>    |  <p>31,7 g kg<sup>-1</sup> de N</p>    | Alvarenga et al., (2015) |
| <i>Acmella oleraceae</i>                    |  <p>26,58 g kg<sup>-1</sup> de N</p>   |  <p>43,59 g kg<sup>-1</sup> de N</p>   | Peçanha et al., (2019)   |
| <i>Alpinia purpurata</i><br>CV. Jungle king |  <p>17,64 g kg<sup>-1</sup> de N</p> |  <p>25,16 g kg<sup>-1</sup> de N</p> | Naiff, (2007)            |

| Nome científico                  | Sintoma visual de deficiência de N                                                                                  | Tratamento completo                                                                                                 | Referência                 |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| <i>Anacardium occidentale</i> L. |                                    |                                    | De Oliveira et al., (1995) |
| <i>Calendula officinalis</i> L.  | <br>22,6 g kg <sup>-1</sup> de N   | <br>39,7 g kg <sup>-1</sup> de N   | Lima, (2015)               |
| <i>Catharanthus roseus</i> (L.)  | <br>7,84 g kg <sup>-1</sup> de N  | <br>38 g kg <sup>-1</sup> de N    | Gama, (2010)               |
| <i>Cymbopogon citratus</i>       | <br>15,5 g kg <sup>-1</sup> de N | <br>26,9 g kg <sup>-1</sup> de N | Lima et al., (2019)        |

| Nome científico               | Sintoma visual de deficiência de N                                                                                    | Tratamento completo                                                                                                     | Referência              |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| <i>Melissa officinalis</i> L. |  <p>18,4 g kg<sup>-1</sup> de N</p>  |  <p>26,3 g kg<sup>-1</sup> de N</p>    | Silva et al., (2021)    |
| <i>Passiflora alata</i>       |  <p>18,0 g kg<sup>-1</sup> de N</p>  |  <p>28,2 g kg<sup>-1</sup> de N</p>    | Freitas et al., (2011)  |
| <i>Physalis peruviana</i> L.  |  <p>20,1 g kg<sup>-1</sup> de N</p>  |  <p>27,2 g kg<sup>-1</sup> de N</p>    | Silva et al., (2017)    |
| <i>Psidium guajava</i>        |  <p>7,9 g kg<sup>-1</sup> de N</p> |  <p>16,22 g kg<sup>-1</sup> de N</p> | Salvador et al., (1998) |



| Nome científico                              | Sintoma visual de deficiência de N                                                                                | Tratamento completo                                                                                               | Referência                 |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| <i>Psychotria ipecacuanha</i> (Brot.) Stokes | <br>8,4 g kg <sup>-1</sup> de N  | <br>16,9 g kg <sup>-1</sup> de N | Viegas et al., (2014)      |
| <i>Punica granatum</i> L.                    |                                  |                                  | Marathe et al., (2016)     |
| <i>Schinus terebinthifolius</i> raddi        | <br>10,0 g kg <sup>-1</sup> de N | <br>20,0 g kg <sup>-1</sup> de N | Andrade e Boaretto, (2012) |

**OBS.:** Tratamento completo – planta cultivada em condições ideais, recebendo todos os nutrientes essenciais para seu crescimento e desenvolvimento das plantas.

## Fósforo nas Plantas

O fósforo é um macronutriente que atua como componente estrutural de membranas celulares, na conversão de energia (ATP), no crescimento das raízes e na formação de frutos e sementes (HAWKESFORD, 2012).

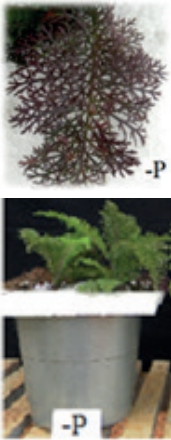
A deficiência de fósforo em plantas é caracterizada por sintomas fisiológicos e morfológicos que afetam seu crescimento e desenvolvimento. Na deficiência de fósforo surgem sintomas como redução na taxa de crescimento das folhas, comprometendo a fotossíntese (KIRSCHBAUM; TOMPKINS, 1990; HANSEL *et al.*,

2021). Escurecimento das folhas mais velhas, que podem ficar arroxeadas por conta do acúmulo de antocianinas, principalmente nas margens e nas nervuras centrais, são sintomas comuns em algumas espécies (De BANG *et al.* 2021).

Observa-se um crescimento reduzido das raízes, com diminuição na ramificação e no comprimento das raízes laterais, o que compromete a absorção de nutrientes e água (KHAN *et al.* 2023). As plantas também podem apresentar diminuição na taxa de fotossíntese, na produção de biomassa e menor eficiência no uso de nutrientes, resultando em menor produtividade e qualidade dos frutos (MISHRA *et al.* 2024).

A Tabela 2, observa-se os sintomas de deficiência de fósforo nas diferentes espécies medicinais. As imagens, extraídas de diferentes autores, têm como finalidade ilustrar e compreender os efeitos da carência desse nutriente no desenvolvimento vegetal. Essa tabela permite visualizar, de maneira clara, os sintomas característicos das deficiências nutricionais de fósforo em comparação as plantas medicinais cultivadas com condições ideais e seus respectivos teores nutricionais.

**Tabela 2** - Sintomas visuais e teores de fósforo em plantas medicinais.

| Nome científico                | Sintoma visual de deficiência de P                                                                                              | Tratamento completo                                                                                                              | Referência               |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| <i>Achillea millefolium</i> L. | <div></div> <p>1,1 g kg<sup>-1</sup> de P</p> | <div></div> <p>5,3 g kg<sup>-1</sup> de P</p> | Alvarenga et al., (2015) |

| Nome científico                             | Sintoma visual de deficiência de P                                                                                    | Tratamento completo                                                                                                    | Referência                 |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| <i>Acmella oleraceae</i>                    |  <p>2,20 g kg<sup>-1</sup> de P</p>  |  <p>6,11 g kg<sup>-1</sup> de P</p>   | Peçanha et al., (2019)     |
| <i>Alpinia purpurata</i><br>CV. Jungle king |  <p>1,40 g kg<sup>-1</sup> de P</p>  |  <p>5,10 g kg<sup>-1</sup> de P</p>   | Naiff, (2007)              |
| <i>Anacardium occidentale</i> L.            |                                     |                                      | De Oliveira et al., (1995) |
| <i>Calendula officinalis</i> L.             |  <p>1,8 g kg<sup>-1</sup> de P</p> |  <p>4,67 g kg<sup>-1</sup> de P</p> | Lima, (2015)               |

| Nome científico                 | Sintoma visual de deficiência de P                                                                                                      | Tratamento completo                                                                                                                  | Referência             |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| <i>Catharanthus roseus</i> (L.) |  <p>-P</p> <p>0,94 g kg<sup>-1</sup> de P</p>          |  <p>C</p> <p>2,56 g kg<sup>-1</sup> de P</p>        | Gama, (2010)           |
| <i>Cymbopogon citratus</i>      |  <p>M</p> <p>1,0 g kg<sup>-1</sup> de P</p>            |  <p>D</p> <p>3,5 g kg<sup>-1</sup> de P</p>         | Lima et al., (2019)    |
| <i>Melissa officinalis</i> L.   |  <p>(-) P</p> <p>1,3 g kg<sup>-1</sup> de P</p>       |  <p>Complete</p> <p>4,2 g kg<sup>-1</sup> de P</p> | Silva et al., (2021)   |
| <i>Passiflora alata</i>         |  <p>A</p> <p>B</p> <p>1,2 g kg<sup>-1</sup> de P</p> |  <p>3,6 g kg<sup>-1</sup> de P</p>                | Freitas et al., (2011) |

| Nome científico                              | Sintoma visual de deficiência de P                                                                                                    | Tratamento completo                                                                                                                 | Referência                  |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| <i>Physalis peruviana</i> L.                 | <p>Omission P</p>  <p>1,3 g kg<sup>-1</sup> de P</p> | <p>Complete</p>  <p>3,2 g kg<sup>-1</sup> de P</p> | Silva et al., (2017)        |
| <i>Psidium guajava</i>                       |  <p>0,70 g kg<sup>-1</sup> de P</p>                  |  <p>1,99 g kg<sup>-1</sup> de P</p>                | Salvador; et al., (1998)    |
| <i>Psychotria ipecacuanha</i> (Brot.) Stokes |  <p>0,4 g kg<sup>-1</sup> de P</p>                  |  <p>1,2 g kg<sup>-1</sup> de P</p>                | Matos viegas et al., (2014) |
| <i>Punica granatum</i> L.                    |                                                    |                                                  | Marathe et al., (2016)      |

| Nome científico                       | Sintoma visual de deficiência de P                                                                                  | Tratamento completo                                                                                                 | Referência                |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| <i>Schinus terebinthifolius raddi</i> |  <p>1,2 g kg<sup>-1</sup> de P</p> |  <p>4,2 g kg<sup>-1</sup> de P</p> | Andrade e Boaretto (2012) |

**OBS.:** Tratamento completo – planta cultivada em condições ideais, recebendo todos os nutrientes essenciais para seu crescimento e desenvolvimento das plantas.

### Potássio nas plantas

O potássio, junto com o nitrogênio, é um dos nutrientes mais requeridos pelas plantas. Participa de processos bioquímicos e fisiológicos essenciais. Sua atuação vai desde a ativação de enzimas ligadas à fotossíntese e respiração até a regulação osmótica e o transporte de carboidratos, levando ao maior vigor e resistência das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2017; CAVALCANTE *et al.*, 2018; HANSEL *et al.*, 2021). Além disso, esse nutriente tem papel central no mecanismo de abertura e fechamento dos estômatos, influenciando diretamente as trocas gasosas e a eficiência do uso da água pelas plantas. Esse controle estomático é muito importante para a manutenção da fotossíntese em variações ambientais, evitando perdas excessivas de água (MALAVOLTA, 2006; MIYAKE, 2016).

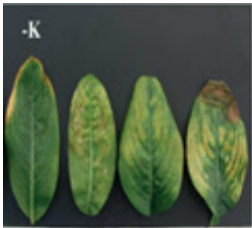
A deficiência de potássio em plantas se manifesta inicialmente por clorose marginal em folhas mais velhas, que evolui para necrose das bordas foliares. Esse sintoma visual vem acompanhado de redução no crescimento vegetativo, menor área foliar, atraso no desenvolvimento e diminuição das raízes. Além disso, ocorre comprometimento na fotossíntese e na respiração, resultando na diminuição dos pigmentos fotossintéticos e alterações anatômicas e fisiológicas que afetam o metabolismo energético (ZHOU *et al.*, 2021; ATTIA *et al.*, 2022; LI *et al.*, 2022; YANG *et al.*, 2023).

Na Tabela 3 observa-se as folhas do tratamento completo comparado com as folhas das plantas deficientes em potássio de algumas plantas medicinais. Nas imagens, nota-se que os sintomas visuais não são constantes e podem variar entre as espécies.

**Tabela 3** - Sintomas visuais e teores de potássio em plantas medicinais.

| Nome científico                          | Sintoma visual de deficiência de K                                                                                     | Tratamento completo                                                                                                    | Referência                 |
|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| <i>Achillea millefolium</i> L.           |  <p>11,1 g kg<sup>-1</sup> de K</p>   |  <p>15,3 g kg<sup>-1</sup> de K</p>   | Alvarenga et al., (2015)   |
| <i>Acmella oleraceae</i>                 |  <p>25,17 g kg<sup>-1</sup> de K</p>  |  <p>53,39 g kg<sup>-1</sup> de K</p>  | Peçanha et al., (2019)     |
| <i>Alpinia purpurata</i> CV. Jungle king |  <p>16,22 g kg<sup>-1</sup> de K</p> |  <p>36,14 g kg<sup>-1</sup> de K</p> | Naiff, (2007)              |
| <i>Anacardium occidentale</i> L.         |                                     |                                     | De Oliveira et al., (1995) |



| Nome científico                 | Sintoma visual de deficiência de K                                                                                    | Tratamento completo                                                                                                    | Referência           |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| <i>Calendula officinalis</i> L. |  <p>12,2 g kg<sup>-1</sup> de K</p>  |  <p>47,7 g kg<sup>-1</sup> de K</p>   | Lima, (2015)         |
| <i>Catharanthus roseus</i> (L.) |  <p>4,52 g kg<sup>-1</sup> de K</p>  |  <p>38,7 g kg<sup>-1</sup> de K</p>   | Gama, (2010)         |
| <i>Cymbopogon citratus</i>      |  <p>8,0 g kg<sup>-1</sup> de K</p>  |  <p>15,1 g kg<sup>-1</sup> de K</p>  | Lima et al., (2019)  |
| <i>Melissa officinalis</i> L.   |  <p>9,5 g kg<sup>-1</sup> de K</p> |  <p>18,5 g kg<sup>-1</sup> de K</p> | Silva et al., (2021) |



| Nome científico                              | Sintoma visual de deficiência de K                                                                                                     | Tratamento completo                                                                                                                  | Referência                  |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| <i>Passiflora alata</i>                      |  <p>10,4 g kg<sup>-1</sup> de K</p>                   |  <p>20,4 g kg<sup>-1</sup> de K</p>                 | Freitas et al., (2011)      |
| <i>Physalis peruviana</i> L.                 | <p>Omission K</p>  <p>11,5 g kg<sup>-1</sup> de K</p> | <p>Complete</p>  <p>21,8 g kg<sup>-1</sup> de K</p> | Silva et al., (2017)        |
| <i>Psidium guajava</i>                       |  <p>4,87 g kg<sup>-1</sup> de K</p>                  |  <p>14,62 g kg<sup>-1</sup> de K</p>               | Salvador et al., (1998)     |
| <i>Psychotria ipecacuanha</i> (Brot.) Stokes |  <p>2,6 g kg<sup>-1</sup> de K</p>                  |  <p>5,2 g kg<sup>-1</sup> de K</p>                | Matos viegas et al., (2014) |

| Nome científico                       | Sintoma visual de deficiência de K                                                                                  | Tratamento completo                                                                                                  | Referência                 |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| <i>Schinus terebinthifolius raddi</i> |  <p>4,0 g kg<sup>-1</sup> de K</p> |  <p>24,0 g kg<sup>-1</sup> de K</p> | Andrade e Boaretto, (2012) |

**OBS.:** Tratamento completo – planta cultivada em condições ideais, recebendo todos os nutrientes essenciais para seu crescimento e desenvolvimento das plantas.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a revisão da literatura, foi constatado que, das 71 espécies de plantas medicinais listadas no RENISUS, apenas 12,67% têm estudos que associam sintomas visuais de deficiência nutricional a imagens claras. Além disso, poucos trabalhos incluem dados sobre os teores nutricionais das plantas nessas condições. Os resultados mostram que os sintomas visuais variam entre as espécies, evidenciando a necessidade de mais pesquisas para preencher as lacunas no conhecimento sobre a nutrição de plantas medicinais. Esse avanço é crucial para melhorar a produção de forma sustentável, garantindo tanto a qualidade agrônômica quanto o potencial terapêutico das plantas.

## REFERÊNCIAS

- ACCORSI, W. R. Medicina natural, um novo conceito. A Fórmula: Guia de Negócios, v. 2, n. 4, p. 5, 2000.
- ALVARENGA, I. C. A. *et al.* Effects on growth, essential oil content and composition of the volatile fraction of *Achillea millefolium* L. cultivated in hydroponic systems deficient in macro- and microelements. *Scientia Horticulturae*, v. 197, p. 329-338, 2015.
- ANDRADE, M. L. F. *et al.* Deficiência nutricional em plantas jovens de aroeira-pimenteira (*Schinus terebinthifolius* Raddi). *Scientia Forestalis*, v. 40, n. 95, p. 383-392, 2012.
- ATTIA, H. *et al.* Effect of potassium deficiency on physiological responses and anatomical structure of basil (*Ocimum basilicum*). *Plants*, v. 11, n. 23, p. 3319, 2022.

- BORIN, A. L. D. C. *et al.* Diagnose visual de deficiências nutricionais do algodoeiro. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2013. (Boletim técnico, 201).
- CAVALCANTE, E. G. S. *et al.* Disponibilidade de potássio em solos do semiárido brasileiro e nutrição potássica em plantas. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 13, n. 4, p. 1-9, 2018.
- COLET, C. F. *et al.* Análises das embalagens de plantas medicinais comercializadas em farmácias e drogarias do município de Ijuí/RS. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, v. 17, n. 2, p. 331-339, 2015.
- DE BANG, T. C. *et al.* The molecular–physiological functions of mineral macronutrients and their consequences for deficiency symptoms in plants. *New Phytologist*, v. 229, n. 5, p. 2446-2469, 2021.
- DE OLIVEIRA, V. H.; TANIGUCHI, C. K.; CRISOSTOMO, L. A. Nutrição mineral do cajueiro. Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT, 1995.
- DIAS, E. C. M. *et al.* Uso de fitoterápicos e potenciais riscos de interações medicamentosas: reflexões para prática segura. *Revista Baiana de Saúde Pública*, v. 41, n. 2, p. a2306, 2018.
- FERREIRA, M. M. M. *et al.* Sintomas de deficiência de macro e micronutrientes de plantas de milho híbrido BRS 1010. *Revista Agro@mbiente On-line*, v. 6, n. 1, 2012.
- FIRMO, W. C. A. *et al.* Contexto histórico, uso popular e concepção científica sobre plantas medicinais. 2012.
- FONTES, P. C. R. Diagnóstico do estado nutricional pelo método visual. In: FONTES, P. C. R. Diagnóstico do estado nutricional das plantas. Viçosa: Editora UFV, 2001. cap. 8, p. 63-86.
- FREITAS, M. S. M. *et al.* Sintomas visuais de deficiência de macronutrientes e boro em maracujazeiro-doce. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 33, p. 1329-1341, 2011.
- FREITAS, M. S. M.; GAMA, M. C.; MONNERAT, P. H.; CARVALHO, A. J. C.; LIMA, T. C.; VIEIRA, I. J. C. Induced nutrient deficiencies in *Catharanthus roseus* impact ajmalicine bioproduction. *Journal of Plant Nutrition*, v. 39, n. 6, p. 835-841, 2016.
- FREITAS, M. S. M. *et al.* Potassium sources and doses in coriander fruit production and essential oil content. *Horticultura Brasileira*, v. 38, p. 268-273, 2020.
- GAMA, M. C. Deficiência de macronutrientes e boro em *Catharanthus roseus*. 2010. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, 2010.
- HANSEL, F. D. *et al.* Nutrição mineral como aliada das plantas na tolerância a estresses ambientais. *Informações Agronômicas*, n. 173, p. 1-17, 2021.
- HASSAN, M. J.; WANG, F.; ALI, S.; ZHANG, G. Toxic effects of cadmium on rice as affected by nitrogen fertilizer form. *Plant and Soil*, v. 277, p. 359-365, 2005.
- HAWKESFORD, M. *et al.* Functions of macronutrients. In: MARSCHNER, P. (ed.). *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. 3. ed. Oxford: Pergamon, 2012. p. 135-189. DOI: 10.1016/B978-0-12-384905-2.00006-6.
- JALLOH, M. A. *et al.* Effect of different N fertilizer forms on antioxidant capacity and grain yield of rice growing under Cd stress. *Journal of Hazardous Materials*, v. 162, p. 1081-1085, 2009.
- JÜTTE, R. *et al.* Herbal medicinal products – evidence and tradition from a historical perspective. *Journal of Ethnopharmacology*, v. 207, p. 220-225, 2017.

KHAN, F. *et al.* Phosphorus plays key roles in regulating plants' physiological responses to abiotic stresses. *Plants*, v. 12, n. 15, p. 2861, 2023.

KIRSCHBAUM, M.; TOMPKINS, D. Photosynthetic response to phosphorous nutrition in *Eucalyptus grandis* seedling. *Tropical Agriculture*, v. 64, p. 91-96, 1990.

LEÃO, R. B. A.; FERREIRA, M. R. C.; JARDIM, M. A. G. Levantamento de plantas de uso terapêutico no município de Santa Bárbara do Pará, Estado do Pará, Brasil. *Revista Brasileira de Farmácia*, v. 88, n. 1, p. 21-25, 2007.

LI, H. *et al.* Imbalance between nitrogen and potassium fertilization influences potassium deficiency symptoms in winter oilseed rape (*Brassica napus*). *The Crop Journal*, v. 10, n. 6, p. 1729-1741, 2022.

LIMA, K. F. Deficiências minerais em *Calendula officinalis* L.: crescimento e sintomas visuais. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2015.

LIMA, T. C. *et al.* Sintomas visuais de deficiência de macronutrientes e boro em *Cymbopogon citratus*. *Journal of Plant Nutrition*, v. 13, p. 1430-1438, 2019.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002.

MACHADO, H. L. *et al.* Research and extension activities in herbal medicine developed by Rede FitoCerrado: rational use of medicinal plants by the elderly in Uberlândia-MG. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, v. 16, n. 3, p. 527-533, 2014.

MALAVOLTA, E. Informações agronômicas sobre nutrientes para as culturas – Nutri-fatos. Piracicaba: POTAFOS, 1996. (Arquivo do Agrônomo, n. 10).

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

MARATHE, R. A.; MURKUTE, A. A.; DHINESH BABU, K. Mineral nutrient deficiencies and nutrient interactions in pomegranate. *National Academy Science Letters*, v. 39, n. 6, p. 407-410, 2016.

MATOS VIEGAS, I. de J. *et al.* Crescimento, composição mineral e sintomas visuais de deficiência nutricional em ipeca. 2014.

MIYAKE, A. Nutrição potássica e trocas gasosas em plantas cultivadas sob déficit hídrico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 20, n. 7, p. 623-629, 2016.

NAIFF, A. P. M. Crescimento, composição mineral e sintomas visuais de deficiências de macronutrientes em plantas de *Alpinia purpurata* cv. Jungle King. Belém: Universidade Federal Rural da Amazônia, 2007.

NATALE, W. *et al.* Mineral nutrition evolution in the formation of fruit tree rootstocks and seedlings. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 40, n. 6, e-133, 2018.

NUNES, A. J. O.; EXLER, R. B.; NUNES, F. M.; PAULILLO, L. C. M. S. Diagnose visual de deficiências minerais em mudas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em função de diferentes doses de macro e micronutrientes. *Energia na Agricultura*, v. 31, n. 3, p. 231-236, 2016. DOI: 10.17224/EnergAgric.2016v31n3p231-236.

OLIVEIRA, V. H. de; TANIGUCHI, C. K.; CRISOSTOMO, L. A. Nutrição mineral do cajueiro. Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT, 1995.

- PATRÍCIO, K. P. *et al.* O uso de plantas medicinais na atenção primária à saúde: revisão integrativa. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 27, p. 677-686, 2022.
- PEÇANHA, D. A. *et al.* Phosphorus fertilization affects growth, essential oil yield and quality of true lavender in Brazil. *Industrial Crops and Products*, v. 170, p. 113803, 2021.
- PEÇANHA, D. A. *et al.* Characterization of deficiency symptoms and mineral nutrient content in *Acmella oleracea* cultivated under macronutrient and boron omissions. *Journal of Plant Nutrition*, v. 42, n. 8, p. 879-890, 2019.
- PEDROSO, R. S.; ANDRADE, G.; PIRES, R. H. Plantas medicinais: uma abordagem sobre o uso seguro e racional. *Physis: Revista de Saúde Coletiva*, v. 31, n. 2, p. e310218, 2021.
- SALVADOR, J. O.; MOREIRA, A.; MURAOKA, T. Deficiência nutricional em mudas de goiabeira decorrente da omissão simultânea de dois macronutrientes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 33, n. 10, p. 1623-1631, 1998.
- SILVA, E. B. *et al.* Visual symptoms of nutrient deficiencies in *Physalis peruviana* L. *Bioscience Journal*, v. 33, n. 1, p. 105-112, 2017.
- SILVA, M. P. S. *et al.* Capsaicinoids and mineral composition of peppers produced under nutrient deficiencies. *Journal of Plant Nutrition*, v. 44, n. 6, p. 845-853, 2021.
- SILVA, T. C. *et al.* Macroelement omission in hydroponic systems changes plant growth and chemical composition of *Melissa officinalis* L. essential oil. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, v. 24, 2021.
- SOUZA, F. G.; CHAVES, L. H. G.; ALVES, A. N. Diagnose por subtração para deficiências de nitrogênio e potássio em gergelim cultivado com solução nutritiva. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 11, n. 3, p. 171-176, 2016. DOI: 10.18378/rvads.v11i3.4363.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

## **ASPECTOS NUTRICIONAIS E SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA DE CÁLCIO, MAGNÉSIO E ENXOFRE EM ESPÉCIES MEDICINAIS**

**João Paulo Ferreira Neris**

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UNF)

**Alex Paulo Martins do Carmo**

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UNF)

**Júlia Caetano Vimercati**

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UNF)

**Yves Peixoto da Costa**

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UNF)

**Ana Paula Silva da Silva**

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UNF)

**Marta Simone Mendonça Freitas**

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UNF)

# RESUMO

As plantas medicinais constituem um recurso terapêutico amplamente empregado no Brasil, tanto em nível doméstico quanto industrial, devido à presença de metabólitos secundários com propriedades bioativas capazes de combater diversas enfermidades. O país apresenta avanços em políticas públicas, programas e legislações que visam valorizar o uso de plantas medicinais e fitoterápicos no sistema público de saúde. Com o aumento da demanda, há necessidade de expandir o cultivo dessas espécies. Contudo, fatores abióticos, especialmente as deficiências nutricionais, comprometem o crescimento vegetal, a produtividade e a qualidade dos compostos ativos, pois a disponibilidade de nutrientes está diretamente relacionada às condições do solo. Entre os macronutrientes, o cálcio atua na integridade da parede celular e no crescimento de tecidos jovens; o magnésio, elemento móvel, participa da fotossíntese por compor a molécula de clorofila; e o enxofre está ligado à síntese de proteínas e metabólitos secundários. Este capítulo aborda os sintomas de deficiência e os teores dos macronutrientes cálcio, magnésio e enxofre em plantas medicinais, com base em estudos científicos, priorizando espécies da lista RENISUS e outras de reconhecido valor terapêutico. O levantamento bibliográfico, realizado entre agosto e setembro de 2025 nas bases Periódicos CAPES e Google Scholar, revelou que apenas 12,67% das 71 espécies do RENISUS possuem estudos sobre sintomas visuais de deficiência nutricional, e poucos relatam os teores dos nutrientes. Observou-se ainda que os sintomas e exigências nutricionais variam entre as espécies.

**Palavras-chave:** Deficiência nutricional; macronutrientes secundários; plantas medicinais.

## INTRODUÇÃO

No Brasil, as plantas medicinais derivam do conhecimento popular e tradicional e são de grande importância tanto para o uso doméstico quanto para o uso industrial, pois apresentam compostos bioativos que podem combater diversas enfermidades. Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), mais de três quartos da população mundial utilizam plantas medicinais nos cuidados iniciais com a saúde (ARORA *et al.*, 2022). Portanto, a demanda por plantas medicinais tem aumentando, especialmente devido à alta procura das indústrias farmacêuticas (SOUZA *et al.*, 2007; SINGH, 2015).

Com o aumento da demanda, torna-se necessária a expansão do cultivo dessas plantas. No entanto, um dos principais obstáculos à produtividade em sistemas agrícolas são os fatores abióticos (MITTLER, 2006). Entre eles, destaca-se o desequilíbrio nutricional, uma vez que a disponibilidade de nutrientes depende diretamente das condições do solo. Esses solos podem apresentar deficiência de um ou mais elementos essenciais, comprometendo assim o desenvolvimento e a produtividade das plantas (GRUSAK *et al.*, 2016).

A identificação de uma deficiência nutricional é realizada por meio de procedimentos para identificar o estado nutricional da planta, como diagnose visual, análise foliar, análise de solo e histórico da área. A análise foliar é realizada por meio de comparação entre os teores nutricionais, em uma folha padrão, da planta deficiente e os teores nutricionais de uma planta saudável (BORIN *et al.* 2013).

A diagnose visual consiste em caracterizar, descrever e/ou, fotografar, mais precoce e detalhadamente possível, os sintomas de deficiência/toxidez na planta-problema e compará-los com os sintomas-padrões de deficiência/toxidez para cada nutriente descrito na literatura, para aquela espécie ou variedade, se possível (FONTES, 2001).

Todavia, os sintomas visuais não são constatados e podem variar muito entre as espécies. A diagnose visual verifica coloração, tamanho, forma e necrose nas folhas e frutos (CHAGAS, 2021). Nesse sentido, a diagnose visual é de grande importância para se ter entendimento da causa do problema quando esse é relacionado a nutrição da planta e fertilidade do solo.



O presente capítulo teve como objetivo investigar os sintomas visuais de deficiências nutricionais de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) em espécies medicinais listadas no RENISUS, bem como em outras plantas popularmente reconhecidas por suas propriedades terapêuticas. O levantamento bibliográfico foi realizado entre agosto e setembro de 2025, nas bases de dados Periódicos CAPES e Google Scholar.

Foram adotados como critérios de inclusão artigos que abordassem a omissão nutricional de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S). Como critérios de exclusão, descartaram-se trabalhos que não apresentavam imagens para a caracterização dos sintomas, bem como aqueles com fotografias em baixa resolução ou em preto e branco.

## **Plantas Medicinais**

As plantas consideradas medicinais são aquelas que possui princípio ativos com atributos terapêuticos, podendo ser utilizada inteiramente ou tendo alguma parte específica propícia para fins medicinais (BRASIL, 2010). As propriedades medicinais dessas espécies estão relacionadas ao metabolismo secundário, o qual desempenha papel fundamental na adaptação das plantas a diferentes ambientes. Além disso, esse metabolismo é essencial não apenas para a sobrevivência das plantas, mas também para a humanidade ao longo do tempo, uma vez que o ser humano soube identificar o potencial terapêutico dessas substâncias no tratamento de diversas doenças (ZANETTI, 2024).

As plantas medicinais são utilizadas nos cuidados à saúde desde a Antiguidade, mas apenas na década de 1970 a OMS, Organização Mundial da Saúde, se manifestou sobre sua importância para a saúde da população (CHEROBIN *et al.*, 2022). Os princípios ativos derivados de plantas medicinais são regulamentados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), órgão vinculado ao Ministério da Saúde, cujas resoluções públicas estabelecem quando e como as chamadas “drogas vegetais” devem ser utilizadas, além de regulamentar o uso de partes de plantas medicinais — como folhas, cascas, raízes ou flores — no Sistema Único de Saúde (SUS) como uma opção terapêutica de tratamento (FLOR e BARBOSA, 2015; BRASIL, 2006).

Em 2009 foi lançado, pelo Programa Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos, a Relação Nacional de Plantas Medicinais de Interesse ao SUS (RENISUS). Trata-se de uma lista de 71 plantas prioritárias para as pesquisas e desenvolvimentos de fitoterápicos disponíveis para uso da população, com segurança e eficácia (BRASIL, 2009).

Segundo Cherobin *et al.*, (2022) o Brasil obteve um importante avanço no campo das políticas públicas, programas e legislação com vistas à valorização das plantas medicinais e fitoterápicos e inserção na rede pública de saúde. Neste sentido, observa-se um aumento da demanda por cultivo de plantas medicinais, a fim de garantir matéria-prima de qualidade e em quantidade que seja capaz de suprir este mercado, além de proporcionar alternativa de renda para o agricultor familiar.

### **Nutrição Mineral das Plantas**

Vários fatores são necessários para o crescimento e o desenvolvimento das plantas, como luz, água, CO<sub>2</sub> e nutrientes minerais. O fornecimento adequado ou a deficiência de algum desses fatores interferem no metabolismo e crescimento da planta (MARSCHNER'S, 2012). Os elementos essenciais para as plantas são classificados com base na quantidade que a planta necessita, dividindo-se em macronutrientes e micronutrientes, os macronutrientes representam cerca de 99,5% da massa seca das plantas, enquanto os micronutrientes cerca de 0,5%. Os macronutrientes incluem Carbono (C), Hidrogênio (H), Oxigênio (O), Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S). Já os micronutrientes englobam o Boro (B), Cloro (Cl), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Molibdênio (Mo), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) (EPSTEIN E BLOOM, 2006).

O manejo adequado dos nutrientes é um fator chave no cultivo de qualquer planta, e não seria diferente para as plantas medicinais, a fim de se maximizar a produção de biomassa, bem como a produção dos princípios ativos, pois a ausência ou excesso dos nutrientes essenciais, podem determinar o rumo das rotas metabólicas e modificar a composição dos princípios ativos na rota dos terpenos (FREITAS *et al.*, 2004; FREITAS *et al.*, 2020; PEÇANHA *et al.*, 2021), na

rota dos compostos fenólicos (FREITAS *et al.*, 2008) e compostos nitrogenados (FREITAS *et al.*, 2016; MONNERAT *et al.*, 2018, SILVA *et al.*, 2021).

Quando ocorre a deficiência de nutrientes essenciais ao longo do ciclo de vida das plantas, manifestam-se sintomas visuais característicos, diretamente relacionados às funções desempenhadas por cada elemento. De maneira geral, nutrientes considerados móveis apresentam sintomas de deficiência em órgãos mais velhos, uma vez que podem ser translocados para os tecidos em crescimento. Em contrapartida, os nutrientes pouco móveis ou imóveis tendem a evidenciar seus sintomas em órgãos jovens, devido à sua baixa redistribuição dentro da planta (FÉLIX e PEREIRA, 2013).

A identificação de uma deficiência nutricional é realizada por meio de procedimentos para identificar o estado nutricional da planta, como diagnose visual, análise foliar, análise de solo e histórico da área. A análise foliar é realizada por meio de comparação entre os teores nutricionais, em uma folha padrão, da planta deficiente e os teores nutricionais de uma planta saudável. (BORIN *et al.* 2013).

## **Cálcio em plantas medicinais**

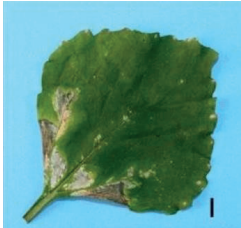
O cálcio é classificado como macronutriente e absorvido pelas plantas na forma de  $\text{Ca}^{2+}$ . O nutriente está envolvido diretamente na estrutura da parede celular, pois é importante constituinte da lamela média das células vegetais, além de ser cofator enzimático e mensageiro na regulação do metabolismo (MARSCHNER'S, 2012). Está presente no fuso mitótico durante as divisões celulares (TAIZ E ZEIGER, 2017) e auxilia na germinação e crescimento do grão de pólen (HAWKESFORD *et al.*, 2012). Atua como mensageiro secundário em respostas a estresses, como déficit hídrico, além de participar do sinal hormonal e conferir rigidez estrutural (COSTA, 2017; GIROTTO, 2019). Além de ser essencial para o desenvolvimento das raízes (SHARMA *et al.*, 2017) e para o equilíbrio ácido-básico no meio e na seiva das plantas (BARROS, 2020).

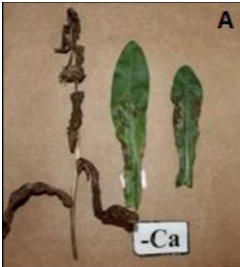
Os sintomas de deficiência tendem a aparecer nas folhas novas da planta (HAWKESFORD *et al.*, 2012), inicialmente nas regiões meristemáticas e nas folhas jovens, por ser um nutriente imóvel. Entre os sinais visuais mais comuns destacam-se: bordas esbranquiçadas, folhas com formas irregulares e

dilaceramento das margens, aspecto gelatinoso nas pontas, manchas necróticas internervais e morte de brotações apicais, podendo levar ao perfilhamento da planta (PRADO, 2008).

Na Tabelas 1 são apresentadas fotos dos sintomas de deficiência de cálcio em algumas plantas medicinais e os respectivos teores nutricionais. As imagens, extraídas de diferentes autores, têm como finalidade ilustrar e compreender os efeitos da carência desses nutrientes no desenvolvimento vegetal. Essa tabela permite visualizar, de maneira clara, os sintomas característicos das deficiências nutricionais de cálcio em comparação as plantas medicinais cultivadas com condições ideais e seus respetivos teores nutricionais.

**Tabela 1** - Sintomas visuais e teores de cálcio em plantas medicinais.

| Nome Científico                | Sintoma Visual de Deficiência de Ca                                                                                  | Tratamento Completo                                                                                                  | Referência               |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| <i>Achillea millefolium</i> L. | <br>5,3 g kg <sup>-1</sup> de Ca    | <br>15 g kg <sup>-1</sup> de Ca     | Alvarenga et al., (2015) |
| <i>Acmella oleracea</i>        | <br>18,4 g kg <sup>-1</sup> de Ca | <br>29,2 g kg <sup>-1</sup> de Ca | Peçanha et al., (2019)   |

| Nome Científico                             | Sintoma Visual de Deficiência de Ca                                                                                                        | Tratamento Completo                                                                                                              | Referência              |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| <i>Alpinia purpurata</i><br>cv. jungle king |  <p>-Ca</p> <p>1,06 g kg<sup>-1</sup> de Ca</p>           |  <p>C</p> <p>5,92 g kg<sup>-1</sup> de Ca</p>   | Naiff, (2007)           |
| <i>Anacardium occidentale</i>               |                                                           |                                                 | Oliveira et al., (1995) |
| <i>Calendula officinalis</i> L.             |  <p>A</p> <p>-Ca</p> <p>7,78 g kg<sup>-1</sup> de Ca</p> |  <p>SC</p> <p>25,0 g kg<sup>-1</sup> de Ca</p> | Lima, (2015)            |
| <i>Catharanthus roseus</i>                  |  <p>-Ca</p> <p>7,91 g kg<sup>-1</sup> de Ca</p>         |  <p>C</p> <p>20,8 g kg<sup>-1</sup> de Ca</p> | Gama, (2010)            |

| Nome Científico               | Sintoma Visual de Deficiência de Ca                                                                                                                                                                          | Tratamento Completo                                                                                                                                                                                          | Referência             |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| <i>Cymbopogon citratus</i>    | <br><br><b>1,90g kg<sup>-1</sup> de Ca</b> | <br><br><b>14,7g kg<sup>-1</sup> de Ca</b> | Lima et al., (2019)    |
| <i>Melissa officinalis</i> L. | <br><b>(-) Ca</b>                                                                                                           | <br><b>Complete</b>                                                                                                         | Silva et al., (2021)   |
| <i>Passiflora alata</i>       | <br><b>2,8 g kg<sup>-1</sup> de Ca</b>                                                                                     | <br><b>7,7 g kg<sup>-1</sup> de Ca</b>                                                                                     | Freitas et al., (2011) |
| <i>Physalis peruviana</i> L.  |                                                                                                                           |                                                                                                                           | SILVA et al., 2017     |

| Nome Científico                       | Sintoma Visual de Deficiência de Ca                                                                                          | Tratamento Completo                                                                                                           | Referência                 |
|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| <i>Psychotria ipecacuanha</i>         |  <p><b>4,07 g kg<sup>-1</sup> de Ca</b></p> |  <p><b>6,20 g kg<sup>-1</sup> de Ca</b></p>  | Viegas et al., (2014)      |
| <i>Punica granatum L.</i>             |  <p><b>19,9 g kg<sup>-1</sup> de Ca</b></p> |  <p><b>22, 3 g kg<sup>-1</sup> de Ca</b></p> | Marathe et al., (2016)     |
| <i>Schinus terebinthifolius Raddi</i> |  <p><b>4 g kg<sup>-1</sup> de Ca</b></p>   |  <p><b>10 g kg<sup>-1</sup> de Ca</b></p>   | Andrade e Boaretto, (2012) |

**OBS.:** Tratamento completo – planta cultivada em condições ideais, recebendo todos os nutrientes essenciais para seu crescimento e desenvolvimento das plantas.

## Magnésio

O magnésio é um macronutriente absorvido na forma iônica  $Mg^{2+}$ . Sua disponibilidade está relacionada não apenas à concentração no solo, mas também ao equilíbrio com cálcio ( $Ca^{+2}$ ) e potássio ( $K^+$ ) (SOUSA et al., 2007). Entre suas funções destaca-se a participação como componente da molécula de



clorofila. Além disso, atua como ativador de enzimas do metabolismo energético, participando de processos que envolvem ATP e ADP, da respiração celular, da síntese de compostos orgânicos e da absorção iônica (FERNANDES *et al.*, 2018).

Dessa forma, a clorose internerval é o sintoma mais característico da deficiência de magnésio. Por ser um nutriente móvel, os sinais surgem primeiramente nas folhas mais velhas. Outro efeito relevante da carência é o acúmulo de carboidratos não estruturais nos tecidos (PRADO, 2008).

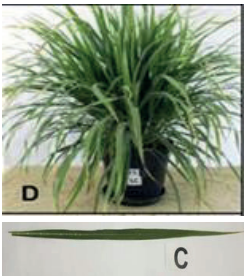
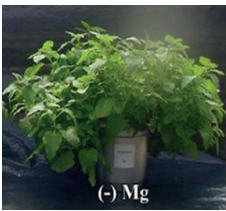
Como podemos observar, na Tabela 2, os sintomas de deficiência de magnésio em plantas medicinais variam entre as espécies de plantas, a intensidade e a forma de manifestação da clorose diferem de acordo com as características fisiológicas de cada planta. Verifica-se a ocorrência de clorose internerval, caracterizada pelo amarelecimento das folhas mais velhas, enquanto as nervuras permanecem verdes.

**Tabela 2** - Sintomas visuais e teores de magnésio em plantas medicinais.

| Nome Científico                | Sintoma Visual de Deficiência de Mg                                                                                              | Tratamento Completo                                                                                                                   | Referência               |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| <i>Achillea millefolium</i> L. |  <p>-Mg</p> <p>1,6 g kg<sup>-1</sup> de Mg</p> |  <p>Complete</p> <p>3,1 g kg<sup>-1</sup> de Mg</p> | Alvarenga et al., (2015) |
| <i>Acmella oleracea</i>        |  <p>N</p> <p>5,22g kg<sup>-1</sup> de Mg</p>  |  <p>A</p> <p>11,44g kg<sup>-1</sup> de Mg</p>      | Peçanha et al., (2019)   |



| Nome Científico                             | Sintoma Visual de Deficiência de Mg                                                                                     | Tratamento Completo                                                                                                     | Referência              |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| <i>Alpinia purpurata</i><br>cv. jungle king |  <p>1,36 g kg<sup>-1</sup> de Mg</p>   |  <p>5,64 g kg<sup>-1</sup> de Mg</p>   | Naiff, (2007)           |
| <i>Anacardium occidentale</i>               |                                        |                                        | Oliveira et al., (1995) |
| <i>Calendula officinalis</i> L              |  <p>1,78 g kg<sup>-1</sup> de Mg</p>  |  <p>7,88 g kg<sup>-1</sup> de Mg</p>  | Lima, (2015)            |
| <i>Catharanthus roseus</i>                  |  <p>9,75 g kg<sup>-1</sup> de Mg</p> |  <p>37,8 g kg<sup>-1</sup> de Mg</p> | Gama, (2010)            |

| Nome Científico               | Sintoma Visual de Deficiência de Mg                                                                                                  | Tratamento Completo                                                                                                          | Referência             |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| <i>Cymbopogon citratus</i>    |  <p><b>- Mg</b><br/>0,34g kg<sup>-1</sup> de Mg</p> |  <p><b>3,06g kg<sup>-1</sup> de Mg</b></p>  | Lima et al., (2019)    |
| <i>Melissa officinalis</i> L. |  <p><b>(-) Mg</b></p>                               |  <p><b>Complete</b></p>                     | SILVA et al., (2021)   |
| <i>Passiflora alata</i>       |  <p><b>1,3 g kg<sup>-1</sup> de Mg</b></p>         |  <p><b>3,9 g kg<sup>-1</sup> de Mg</b></p> | Freitas et al., (2011) |
| <i>Physalis peruviana</i> L.  |                                                   |                                           | Silva et al., (2017)   |

| Nome Científico                       | Sintoma Visual de Deficiência de Mg                                                                                | Tratamento Completo                                                                                                | Referência                 |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| <i>Psychotria ipecacuanha</i>         | <br>1,67 g kg <sup>-1</sup> de Mg | <br>2,80 g kg <sup>-1</sup> de Mg | Viegas et al., (2014)      |
| <i>Punica granatum L.</i>             | <br>5,5 g kg <sup>-1</sup> de Mg  | <br>6,1 g kg <sup>-1</sup> de Mg  | Marathe et al., (2016)     |
| <i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi | <br>0,9 g kg <sup>-1</sup> de Mg | <br>2,7 g kg <sup>-1</sup> de Mg | Andrade e Boaretto, (2012) |

**OBS.:** Tratamento completo – planta cultivada em condições ideais, recebendo todos os nutrientes essenciais para seu crescimento e desenvolvimento das plantas.

## Enxofre

O enxofre é um macronutriente, absorvido na forma de sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Sua função no metabolismo vegetal é participa de diversos compostos das plantas, tais como proteínas e aminoácidos (MARSCHNER'S *et al.* 2012). Além de desempenhar papel relevante no metabolismo secundário, compondo moléculas que conferem propriedades medicinais às plantas (MACOSKI, 2021). O  $\text{SO}_4^{2-}$  é ativado em adenosina 5'-fosfossulfato (APS) pela ação da enzima ATP-sulfurilase, e o

APS pode ser utilizado na síntese de cisteína ou na produção de metabólitos secundários (FABRINO *et al.*, 2024).

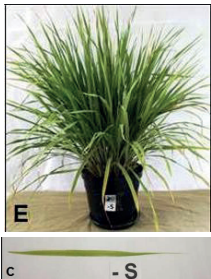
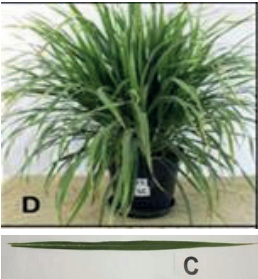
Os sintomas de deficiência de enxofre ocorrem nas folhas mais jovens devido à sua baixa mobilidade e incluem clorose, enrolamento das margens foliares, diminuição do limbo foliar, necrose, desfolhamento, internódios curtos, redução do florescimento e porte raquítico. A clorose pode ser facilmente confundida com a deficiência de nitrogênio, embora esta última se manifeste inicialmente nas folhas mais velhas (PRADO, 2008).

Na Tabela 3 observa-se as folhas do tratamento completo comparado com as folhas do das plantas deficientes em enxofre de algumas plantas medicinais.

**Tabela 3** - Sintomas visuais e teores de enxofre em plantas medicinais.

| Nome Científico                | Sintoma Visual de Deficiência de enxofre                                                                            | Tratamento Completo                                                                                                  | Referência               |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| <i>Achillea millefolium</i> L. | <br>1,1 g kg <sup>-1</sup> de S    | <br>1,6 g kg <sup>-1</sup> de S     | Alvarenga et al., (2015) |
| <i>Acmella oleracea</i>        | <br>5,21 g kg <sup>-1</sup> de S | <br>10,81 g kg <sup>-1</sup> de S | Peçanha et al., (2019)   |

| Nome Científico                             | Sintoma Visual de Deficiência de enxofre                                                                               | Tratamento Completo                                                                                                    | Referência              |
|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| <i>Alpinia purpurata</i><br>cv. jungle king |  <p>1,86 g kg<sup>-1</sup> de S</p>   |  <p>4,16 g kg<sup>-1</sup> de S</p>   | Naiff, (2007).          |
| <i>Anacardium occidentale</i>               |                                       |                                       | Oliveira et al., (1995) |
| <i>Calendula officinalis</i> L.             |  <p>2,40 g Kg<sup>-1</sup> de S</p>  |  <p>9,60 g Kg<sup>-1</sup> de S</p>  | Lima, (2015)            |
| <i>Catharanthus roseus</i>                  |  <p>1,13 g Kg<sup>-1</sup> de S</p> |  <p>2,17 g Kg<sup>-1</sup> de S</p> | Gama, (2010)            |

| Nome Científico               | Sintoma Visual de Deficiência de enxofre                                                                              | Tratamento Completo                                                                                                  | Referência             |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| <i>Cymbopogon citratus</i>    |  <p>0,74 g kg<sup>-1</sup> de S</p>  |  <p>1,74 g kg<sup>-1</sup> de S</p> | Lima et al., (2019)    |
| <i>Melissa officinalis</i> L. |  <p>(-) S</p>                        |  <p>Complete</p>                    | Silva et al., (2021)   |
| <i>Passiflora alata</i>       |  <p>0,67 g kg<sup>-1</sup> de S</p> |  <p>4,9 g kg<sup>-1</sup> de S</p> | Freitas et al., (2011) |
| <i>Physalis peruviana</i> L.  |                                    |                                   | Silva et al., (2017)   |



| Nome Científico                       | Sintoma Visual de Deficiência de enxofre                                                                           | Tratamento Completo                                                                                                | Referência                 |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| <i>Psidium guajava</i>                | <br>0,72 g kg <sup>-1</sup> de S  | <br>2,86 g kg <sup>-1</sup> de S  | Salvador et al., (1998)    |
| <i>Psychotria ipecacuanha</i>         | <br>1,65 g kg <sup>-1</sup> de S  | <br>2,12 g kg <sup>-1</sup> de S  | Viegas et al., (2014).     |
| <i>Punica granatum L.</i>             |                                  |                                  | Marathe et al., (2016)     |
| <i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi | <br>1,4 g kg <sup>-1</sup> de S | <br>3,3 g kg <sup>-1</sup> de S | Andrade e Boaretto, (2012) |

**OBS.:** Tratamento completo – planta cultivada em condições ideais, recebendo todos os nutrientes essenciais para seu crescimento e desenvolvimento das plantas.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na revisão de literatura realizada em plataformas de pesquisa, verificou-se que, das 71 espécies vegetais, de importância medicinal listadas no RENISUS, apenas 12,67% possuem estudos que relatam sintomas visuais associados à deficiência nutricional com imagens que realmente estão visíveis os sintomas. Além disso, nem todos os trabalhos apresentaram os teores nutricionais das plantas em condição de deficiência e ficou evidenciado que os sintomas visuais podem se comportar de maneira diferente entre espécies. Esses resultados demonstram a necessidade de intensificar pesquisas nessa área, a fim de suprir as lacunas existentes no conhecimento sobre a nutrição de plantas medicinais. Assim, é possível melhorar a produção de plantas medicinais de forma sustentável, garantindo tanto a qualidade agrônômica quanto o potencial terapêutico das mesmas.

## REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, I. C. A.; BOLDRIN, P. F.; PACHECO, F. V.; SILVA, S. T.; BERTOLUCCI, S. K. V.; PINTO, J. E. B. P. Effects on growth, essential oil content and composition of the volatile fraction of *Achillea millefolium* L. cultivated in hydroponic systems deficient in macro- and microelements. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 197, p. 329-338, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.046>.
- ANDRADE, M. L. F. de; BOARETTO, A. E. Deficiência nutricional em plantas jovens de aroeira-pimenteira (*Schinus terebinthifolius* Raddi). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 95, p. 383-392, 2012.
- ARORA, K., RAI, M. K., SHARMA, A.K. Tissue culture mediated biotechnological interventions in medicinal trees: recent progress. **Plant Cell Tissue and Organ Culture**, v. 150, p. 267-287, 2022.
- BARROS, J. F. C. Fertilidade do solo e nutrição das plantas. Évora: Escola de Ciências e Tecnologia, Departamento de Fitotecnia, 2020.
- BORIN, A.L. D.C., FERREIRA, G.B., CARVALHO, M.D., FERREIRA, A.D. B., BOGIANI, J.C., 2013. Diagnose visual de deficiências nutricionais do algodoeiro. **Circular Técnica**, Campina Grande, n. 134, p. 2-11, 2013. ISSN 0100-6460.
- BRASIL. Decreto nº 5.813, de 22 de junho de 2006. Aprova a Política Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 23 jun. 2006. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2006/decreto/d5813.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/decreto/d5813.htm). Acesso em: 2 set 2025.



BRASIL. Ministério da Saúde. Relação nacional de plantas medicinais de interesse ao SUS. [Brasília, DF], 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/composicao/sectics/plantas-medicinais-e-fitoterapicos/plantas-medicinais-e-fitoterapicos-no-sus/tabela-renisus>. Acesso em: 1 set. 2025.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. RDC nº 10, de 10 de março de 2010. Dispõe sobre a notificação de drogas vegetais junto à Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, ed. 48, seção 1, p. 52, 11 mar. 2010. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-rdc-n-10-de-9-de-marco-de-2010-31277304>. Acesso em: 2 sets 2025.

CHAGAS, M. C. Diagnose visual e crescimento da cana-energia (*Saccharum spontaneum* L.) sob deficiência nutricional de N, P, K, Ca e S. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônoma) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), Jaboticabal, 2021.

CHEROBIN, F.; BUFFON, M. M.; CARVALHO, D. S. de; RATTMANN, Y. D. Plantas medicinais e políticas públicas de saúde: novos olhares sobre antigas práticas. Physis: **Revista de Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 32, n. 3, e320306, 2022.

COSTA, D. M. Efeito da utilização de gesso na produtividade do milho para silagem. 2017. 38f. Monografia (Bacharelado em Ciências Agrárias) - Instituto Ciências Agrárias Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Unaj, 2017.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina: Editora Planta. 2006. 403p.

FABRINO, F. M. Avaliação do desempenho agrônomo de variedades de feijão adubadas com enxofre elementar e biofortificadas com macro e micronutrientes, avaliadas por meio de fenotipagem de alto rendimento com drone aliado à metodologia de inteligência artificial. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Dracena, 2024.

FÉLIX, L. M.; PEREIRA, P. N. Nutrição Mineral. In: **Botânica no Inverno**. São Paulo: IB/USP, 2013. p. 84-88.

FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A. **Nutrição mineral de plantas**. 2. ed. Viçosa, MG: SBCS, 670 p. 2018.

FONTES, P. C. R. **Diagnóstico do estado nutricional das plantas**. Viçosa: UFV, 2001. 122 p.

FLOR, A. S. S. de O.; BARBOSA, W. L. R. Sabedoria popular no uso de plantas medicinais pelos moradores do bairro do sossego no distrito de Marudá-PA. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 17, n. 4 suppl 1, p. 757-768, 2015.

FREITAS, M. S. M.; MARTINS, M. A.; CURCINO, I. J. Produção e qualidade de óleos essenciais de *Mentha arvensis* em resposta à inoculação de fungos micorrízicos arbusculares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 39, n. 9, p. 887-894, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000900008>.

FREITAS, M. S. M.; MONNERAT, P. H.; VIEIRA, I. J. C. Mineral deficiency in *Passiflora alata* Curtis: vitexin bioproduction. **Journal of Plant Nutrition**, v. 31, p. 1844- 1854, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904160802325463>.

FREITAS, M. S. M.; MONNERAT, P. H.; CARVALHO, A. J. C.; VASCONCELLOS, M. A. S. Sintomas visuais de deficiência de macronutrientes e boro em maracujazeiro- doce. **Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal**, v. 33, n. 4, p. 1329-1341, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000400024>.

FREITAS, M. S. M.; GAMA, M. C.; MONNERAT, P. H.; CARVALHO, A. J. C.; LIMA, T. C.; VIEIRA, I. J. C. Induced nutrient deficiencies in *Catharanthus roseus* impact ajmalicine bioproduction. **Journal of Plant Nutrition**, v. 39, p. 835-841, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1109100>.

FREITAS, M. S. M.; GONÇALVES, Y. D. S.; LIMA, T. C.; SANTOS, P. C.; PEÇANHA, D. A.; VIEIRA, M. E.; VIEIRA, I. J. C. Potassium sources and doses in coriander fruit production and essential oil content. **Horticultura Brasileira**, v. 38, p. 268-273, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-053620200307>.

GAMA, M. C. Deficiência de Macronutrientes e Boro em *Catharanthus roseus*. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2010.

GIROTTI, C. F. Cálcio e sinalização do restabelecimento vegetal após estresse mecânico. 2019. 90f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Instituto de Biociências de Botucatu, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2019.

GRUSAK, M. A.; BROADLEY, M. R.; WHITE, P. J. Plant macro-and micronutrient minerals. In: (ed.). **Encyclopedia of Life Sciences**. Chichester: John Wiley & Sons, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0001306.pub2>. Acesso em: 23 set. 2025.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEV, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MØLLER, I. S.; WHITE, P. Functions of macronutrients. In: MARSCHNER, P. (ed.). **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. Oxford: Pergamon, 2012. p. 135-189. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00006-6>.

LIMA, K. F. Deficiências minerais em *Calendula officinalis* L.: crescimento e sintomas visuais. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2015.

LIMA, T. C.; FREITAS, M. S. M.; MENDONÇA, L. V. P.; GONÇALVES, Y. D. S.; PEREIRA, J. A. P.; LIMA, K. F. Sintomas visuais de deficiência de macronutrientes e boro em *Cymbopogon citratus*. **Journal of Plant Nutrition**, v. 13, p. 1430-1438, 2019.

MACOSKI, N.; GABARDO, G.; CLOCK, D. C.; DE ARAUJO AVILA, G. M.; CHORNOBAY, A. K. Efeito da aplicação de cálcio e enxofre na severidade de *Blumeria graminis* f. sp. *Avenae*. **Agroecologia: métodos e técnicas para uma agricultura sustentável**, v. 2, p. 106-115, 2021.

MARATHE, R. A.; MURKUTE, A. A.; BABU, K. D. Mineral nutrient deficiencies and nutrient interactions in pomegranate. **The National Academy of Sciences**, India, p. 407- 410, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40011-016-0805-5>.

MARSCHNER, P. Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3. ed. London: Academic Press, 2012.

MITTLER, R. Abiotic stress, the field environment and stress combination. **Trends in Plant Science**, v. 11, p. 15-19, 2006.

MONNERAT, C. S.; FREITAS, M. S. M.; VIEIRA, I. J. C.; MARTINS, M. A.; CARVALHO, A. J. C. D.; SANTOS, P. C. D.; LIMA, T. C. Ajmalicine bioproduction in *Catharanthus roseus* (L.) G. Don inoculated with arbuscular mycorrhiza and fertilized with nitrogen. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, e0170057, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/18069657rbcS20170057>.

NAIFF, A. P. M. Crescimento, composição mineral e sintomas visuais de deficiências de macronutrientes em plantas de *Alpinia purpurata* cv. Jungle King. 2007. 120 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2007.

OLIVEIRA, Vitor Hugo de; TANIGUCHI, C. Kenji; CRISOSTOMO, L. Araujo. **Nutrição mineral do cajueiro**. Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT, 1995.

PEÇANHA, D. A.; FREITAS, M. S. M.; VIEIRA, M. E.; CUNHA, J. M.; JESUS, A. C. Phosphorus fertilization affects growth, essential oil yield and quality of true lavender in Brazil. **Industrial Crops and Products**, v. 170, p. 113803, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113803>.

PEÇANHA, D. A.; FREITAS, M. S. M.; VIEIRA, M. E.; LIMA, T. C.; GONÇALVES, Y. S. Characterization of deficiency symptoms and mineral nutrient content in *Acmella oleracea* cultivated under macronutrient and boron omissions. **Journal of Plant Nutrition**, v. 42, n. 8, p. 879–890, 2019.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora UNESP, 2008, 136p. SALVADOR, J. O.; MOREIRA, A.; MURAOKA, T. Deficiência nutricional em mudas de goiabeira decorrente da omissão simultânea de dois macronutrientes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 10, p. 1623–1631, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab1998.v33.5000>.

SHARMA, A.; SHANKHDHAR, D.; SHANKHDHAR, S. The role of calcium in plant signal transduction under macronutrient deficiency stress. In: **Plant Macronutrient Use Efficiency: Molecular and Genomic Perspectives in Crop Plants**. [S. l.]: Academic Press, 2017. p. 181-196. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811308-0.00010-7>.

SILVA, E. de B.; SANTOS, A. A.; MATTOS, A. M. de; NETO, A. M. B.; CRUZ, M. do C. M. da; MOREIRA, R. A.; JÚNIOR, V. C. de A.; GONÇALVES, E. D.; OLIVEIRA, L. F. de. Visual symptoms of nutrient deficiencies in *Physalis peruviana* L. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 33, n. 1, p. 105-112, 2017. DOI: <https://doi.org/10.14393/BJ-v33n1a2017-32746>. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/32746>. Acesso em: 29 ago. 2025.

SILVA, M. P. S.; FREITAS, M. S. M.; PEREIRA, J. A. P.; SANTOS, P. C.; CARVALHO, A. J. C.; VIEIRA, I. J. C.; RODRIGUES, R. Capsaicinoids and mineral composition of peppers produced under nutrient deficiencies. **Journal of Plant Nutrition**, v. 44, n. 6, p. 845-853, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1873432>.

SILVA, T. C.; BERTOLUCCI, S. K.V.; CARVALHO, A. A.; TOSTES, W. N.; ALVARENGA, I. C. A.; PACHECO, F. V.; ASSIS, R. M. A. de; HONORATO, A. da C.; PINTO, J. E. B. P. Macroelement omission in hydroponic systems changes plant growth and chemical composition of *Melissa officinalis* L. essential oil. **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants**, v. 24, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2021.100297>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214786121000061?via%3DiHu>. Acesso em: 29 ago. 2025.

SINGH, R. Medicinal plants: A review. **Journal of Plant Sciences**, v. 3, n. 1-1, p. 50- 55, 2015.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. G.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J.C. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 205-274.

SOUZA, M. A. A.; ARAUJO, O. J. L.; FERREIRA, M. A. F.; STARK, E. M. L. M.; FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R. Produção de biomassa e óleo essencial de hortelã em hidroponia em função de nitrogênio e fósforo. **Horticultura Brasileira**, Recife, v. 25, p. 41-48, 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 719p. 2017.

VIEGAS, I. de J. M.; GALVÃO, J. R.; JÚNIOR, M. L. da S.; MELO, N. C.; OLIVEIRA, M. S. de. Crescimento, Composição Mineral E Sintomas Visuais De Deficiência Nutricional Em Ipeca. Revista Caatinga, Mossoró, v. 27, ed. 1, p. 141 – 147, 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/caatinga/article/view/3472>. Acesso em: 29 ago. 2025.

ZANETTI, N. do N. S. *et al.* Metabolismo secundário de plantas: uma abordagem investigativa de ensino baseada em evidências e contextualização. 2024.

## **TÍTULO: FACTORES SOCIOECONÓMICOS Y SU IMPACTO EN LA SOSTENIBILIDAD DEL CULTIVO DE PITAHAYA EN ASOCIACIONES DE BONGARÁ, AMAZONAS (PERU)**

**Harver Aldrick Luna-Maicelo**

Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM)

**Moises Mori-Huaman**

Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM)

**Yesica Rojas-Bravo**

Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM)

**Leif Armando Portal-Cahuana**

Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM)

**Liz Emperatriz Velásquez-Mauricio**

Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM)

# RESUMEN

Este estudio analiza la influencia de los factores socioeconómicos en la producción sostenible de pitahaya (*Hylocerus megalanthus*), en asociaciones rurales de la provincia de Bongará, Amazonas, Perú. La investigación se centró en caracterizar los sistemas productivos de la Asociación Fruta del Dragón y la Asociación de Productores Agroecológicos La Coca, así como en identificar las condiciones socioeconómicas de las familias productoras. Los resultados muestran que las decisiones relacionadas con el uso del terreno están significativamente condicionadas por aspectos sociales, mientras que la interacción entre factores económicos, características del terreno y prácticas laborales es determinante para el sistema productivo de pitahaya. Por otro lado, aspectos como la tecnología, gestión ambiental y las actividades de cosecha, postcosecha y comercialización presentan una influencia menos condicionada por factores externos. Estos hallazgos pueden guiar estrategias públicas y privadas orientadas a fortalecer la producción sostenible de pitahaya en zonas rurales andino-amazónicas.

**Palabras-clave:** Sistemas productivos; factores socioeconómicos; *Pitahaya*; sostenibilidad agrícola; asociaciones rurales.

## INTRODUCCIÓN

La Pitahaya Amarilla (*Hylocereus megalanthus*), conocida como “Fruta del Dragón”, es una fruta exótica con alto valor nutricional y funcional que ha ganado popularidad a nivel mundial debido a sus características fisicoquímicas y compuestos bioactivos (Vargas-Tierras *et al.*, 2021; Sotomayor *et al.*, 2019a). Su producción se concentra en regiones subtropicales y tropicales de América Latina, encontrándose en estado silvestre en países como México, Colombia, Brasil, Costa Rica, Ecuador y Perú (Carolina & Bastidas, 2013; Betancur *et al.*, 2020). En Perú, las regiones de Amazonas y San Martín lideran la producción, aunque la explotación comercial aún está en desarrollo frente a otros países latinoamericanos (Obregón *et al.*, 2022; Sierra y Selva Exportadora, 2015). La superficie cultivada en Amazonas alcanza aproximadamente 60 hectáreas con una producción anual cercana a 500 toneladas (INIA, 2020).

El cultivo de pitahaya se ha diversificado en varios sistemas productivos que varían desde el tradicional hasta el hidropónico y agroecológico, adaptados a condiciones locales y recursos disponibles (Santana *et al.*, 2020; Verona *et al.*, 2020; Chu & Chang, 2020). Estos sistemas enfrentan retos técnicos y socioeconómicos que afectan su sostenibilidad, incluyendo aspectos de manejo ambiental, uso de tecnología, y comercialización (Braga, 2010; Diaz, 2023).

Los factores socioeconómicos son determinantes clave en la sostenibilidad de la producción agrícola, influyendo en las decisiones productivas, acceso a insumos y mercados, así como en la capacidad de innovación y adaptación (Amitha *et al.*, 2023; Borodina & Prokopa, 2023). En particular, las redes sociales, prácticas comunitarias y la cooperación entre agricultores facilitan la gestión del recurso tierra y la implementación de prácticas sostenibles (Altieri & Nicholls, 2017). Al mismo tiempo, los recursos financieros y la infraestructura disponible condicionan la inversión en tecnologías adecuadas y la optimización de procesos productivos (Maricielo *et al.*, 2022; CEPAL *et al.*, 2021).

Fortalecer las cadenas de valor de la pitahaya mediante políticas públicas, innovación tecnológica y capacitación contribuye a incrementar la competitividad y asegurar beneficios equitativos entre los actores involucrados (Salomón *et al.*, 2022; Taynah *et al.*, 2014). Así, el análisis de la influencia de los factores socioeconómicos en la producción sostenible es esencial para la formulación

de estrategias que impulsen el desarrollo económico local, la sostenibilidad ambiental y la resiliencia frente a desafíos climáticos y de mercado (Sotomayor *et al.*, 2019b; Diaz, 2023).

Este estudio tuvo como objetivo general analizar la influencia de los factores socioeconómicos en los sistemas de producción sostenible de pitahaya en asociaciones de Bongará, Amazonas (Perú). Para ello, se plantearon los siguientes objetivos específicos: 1. Caracterizar los sistemas productivos de pitahaya en las asociaciones Productores Agroecológicos La Coca y Fruta del Dragón en la provincia de Bongará, Amazonas, Perú. 2. Identificar y evaluar los factores socioeconómicos de las familias involucradas en los sistemas productivos de pitahaya en las asociaciones mencionadas y 3. Analizar la relación entre los factores socioeconómicos y la sostenibilidad de los sistemas productivos de pitahaya en la provincia de Bongará, Amazonas, Perú.

**Figura 1** - Pitahaya Amarilla (*Hylocereus megalanthus*).



## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de Estudio

La investigación se realizó en el nororiente peruano, específicamente en el departamento de Amazonas, Perú. Según CuscoPeru (s.f.), "en la selva alta, las temperaturas oscilan entre 12 °C y 26 °C, con una humedad relativa que puede alcanzar hasta el 90%. Durante los meses de mayo a agosto, las temperaturas descienden a entre 8 y 12 °C". En contraste, en la selva baja, "las temperaturas promedio varían entre 15 °C y 31 °C, con niveles de humedad que pueden llegar hasta el 75%" (CuscoPeru, s.f.). Además, en zonas montañosas, como la Cordillera del Cóndor, "las temperaturas pueden descender hasta 2 °C, con alta humedad y presencia frecuente de neblinas" (CuscoPeru, s.f.). En cuanto a las lluvias, se señala que en la selva baja "las precipitaciones superan los 1,000 mm anuales, concentrándose principalmente entre noviembre y abril" (CuscoPeru, s.f.). Mientras tanto, la selva alta "experimenta lluvias entre 2,600 mm y 4,000 mm al año, pudiendo llegar a superar los 8,000 mm en ciertas áreas" (CuscoPeru, s.f.).

Según el Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI, 2022), en Amazonas "la agricultura es la principal actividad económica", con cultivos como café, cacao, yuca, maíz y pitahaya, y una agroindustria en crecimiento que "genera valor agregado y empleo local". Por su parte, el Banco Central de Reserva del Perú (BCRP, 2023) señala que "el comercio regional se concentra en la comercialización de productos agrícolas, artesanías y alimentos procesados", siendo fundamental para la economía local, mientras que "el sector servicios, incluyendo el turismo, viene mostrando un dinamismo importante". Finalmente, el Ministerio de Comercio Exterior y Turismo (MINCETUR, 2021) destaca que Amazonas "cuenta con un importante potencial turístico debido a su biodiversidad y patrimonio arqueológico", con Chachapoyas y Kuelap como destinos emergentes que impulsan la economía regional.

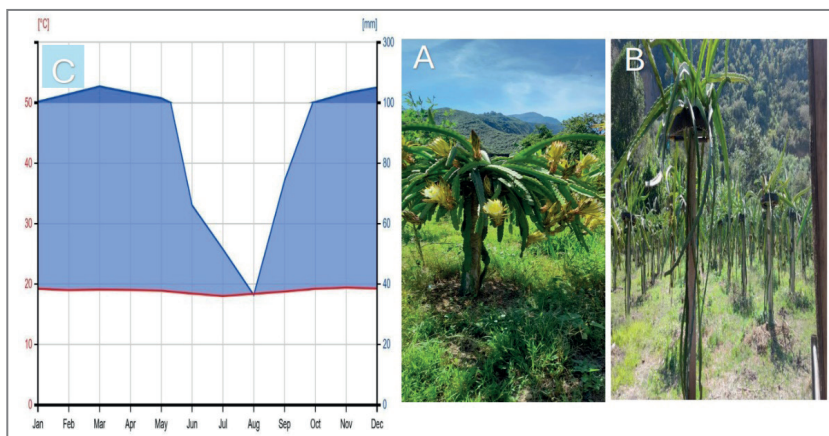
Según el Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM, 2021), Amazonas presenta una "diversidad vegetal notable" con especies como cedro, caoba, cedro negro, orquídeas y helechos propios de la ceja de selva, además de "importantes especies de árboles frutales y maderables" en la selva alta que aportan a la economía local y conservación ambiental. Por su parte, la Organización



para la Conservación de la Biodiversidad Peruana (OCBP, 2022) indica que la región alberga una “gran diversidad de mamíferos, aves, anfibios y reptiles”, incluyendo el oso de anteojos y el mono choro de cola amarilla, y resalta que “la región amazónica es vital para la conservación de especies endémicas y en peligro de extinción”.

Las asociaciones Asociación Fruta del Dragón de Churuja y Asociación de Productores Agroecológicos La Coca de Valera presentan un clima tropical húmedo típico de la ceja de selva, con temperaturas entre “12 °C y 26 °C”, alta humedad y lluvias que “pueden superar los 2,500 mm” anualmente (MINAM, 2021). Su biodiversidad es notable, con una vegetación que “incluye especies maderables como el cedro, la caoba y árboles frutales” y fauna emblemática como el oso de anteojos y el mono choro de cola amarilla (OCBP, 2022).

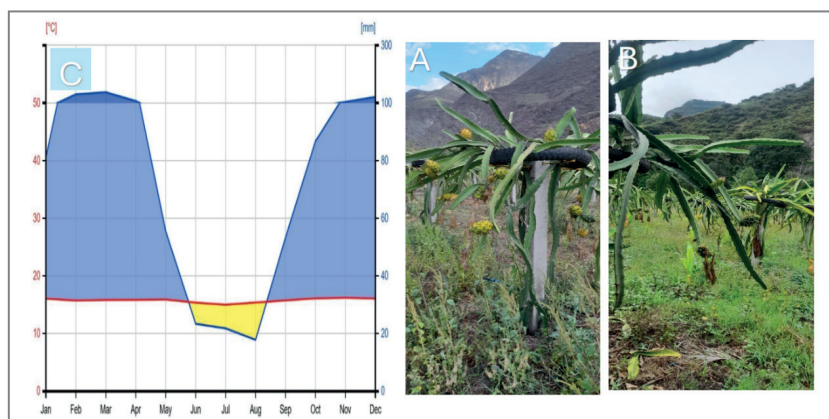
**Figura 1** - Climograma, Asociación de Productores Agroecológicos La Coca de Valera, San Pablo de Valera.



**Fuente:** C: ClimateCharts.net; A y B: plantones de pitahaya Asociación Agroecológicos la Coca.

La economía local en Churuja y Valera, se basa principalmente en la agricultura, destacando cultivos como “café, cacao, yuca, maíz y frutas tropicales como la pitahaya”, con una agroindustria que “genera valor agregado y empleo local” (MINAGRI, 2022). Además, “el comercio regional se centra en la comercialización de productos agrícolas, artesanías y alimentos procesados”, y el turismo ha mostrado un “dinamismo importante” en los últimos años (BCRP, 2023).

**Figura 2 -** Climograma, Asociación Fruta del Dragón de Churuja, Churuja.



**Fuente:** C: ClimateCharts.net; A y B: plantones de pitahaya Asociación fruta del Dragón.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se aplicó un cuestionario a las asociaciones, compuesto por 70 preguntas cerradas medidas mediante la escala de Likert, la cual permite identificar el grado de acuerdo o desacuerdo en las respuestas. La recolección de información se realizó de manera personal y presencial a cada uno de los productores pertenecientes a la Asociación Fruta del Dragón y la Asociación de Productores Agroecológicos Juntos al Campo.

Para la validación, el cuestionario fue sometido a juicio de expertos, quienes evaluaron la relevancia del contenido en términos de claridad, coherencia y pertinencia. Esta evaluación permitió fortalecer la validez de contenido del cuestionario, incrementando la confiabilidad de los resultados obtenidos a partir de su aplicación.

Confiabilidad, la confiabilidad del instrumento fue evaluada mediante un análisis de consistencia interna. Para ello, se utilizó el coeficiente alfa de Cronbach, el cual permite medir la correlación entre los ítems del cuestionario y evaluar la fiabilidad de la escala. Se consideraron valores de alfa superiores a 0.7 u 0.8, los cuales garantizaron un nivel aceptable de confiabilidad del instrumento.

**Tabla 1** - Alfa de Cronbach del cuestionario.

| Cuestionario                       | Alfa de Cronbach | Nº de ítems |
|------------------------------------|------------------|-------------|
| Encuesta a productores de pitahaya | 0.78             | 70          |

**Fuente:** Luna (2023).

Respecto a la población y para efecto del estudio, se conformó por 06 asociaciones en los distritos Churuja, Jazán, Shipasbamba, San Pablo de Valera y San Jerónimo.

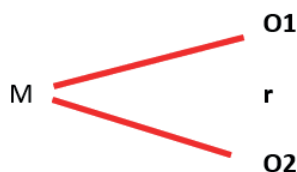
Muestra y muestreo, la muestra, entendida como el subconjunto de la población del cual se recolectan los datos, estuvo conformada por la totalidad de los miembros de las asociaciones involucradas, dado que se trató de una población finita. Esto permitió alcanzar un nivel de confiabilidad del 100 %. La selección se realizó mediante un muestreo no probabilístico de tipo intencional, en el cual el investigador elige a los participantes con base en criterios definidos, sin seguir reglas estadísticas estrictas. En este caso, la muestra incluyó a los 26 socios de la Asociación “Fruta del Dragón” del distrito de Churuja y a los 25 socios de la Asociación “Productores Agroecológicos Juntos al Campo” del distrito de Valera, ambos pertenecientes a la provincia de Bongará, en el departamento de Amazonas.

**Tabla 2** - Productores agropecuario del distrito de Churuja y Valera.

| Nº                   | Razón social                                          | Estado | Distrito | Representante legal | Número de socios |
|----------------------|-------------------------------------------------------|--------|----------|---------------------|------------------|
| 1                    | Asociación Fruta del Dragón                           | Activo | Churuja  | Miguel Meza         | 26               |
| 2                    | Asociación Productores Agroecológicos Juntos al Campo | Activo | Valera   | Germán Sánchez      | 25               |
| Total de productores |                                                       |        |          |                     | 51               |

**Fuente:** Luna (2023).

Diseño de la investigación, el estudio se desarrolló bajo un diseño no experimental, de tipo descriptivo-correlacional, ya que se analizó una situación existente sin manipular intencionadamente las variables. El enfoque fue cuantitativo, lo que permitió describir de forma objetiva los fenómenos observados y analizar la relación entre las variables a partir de datos recolectados en el contexto real.

**Donde:****M**=Muestra**O1**= Variable independiente**O2**= Variable dependiente**r**= Relación entre las dos Variables

Tipo y nivel de investigación. La investigación fue de tipo transversal, ya que se realizó en un único momento en el tiempo para describir un fenómeno económico-social, identificando sus causas y condiciones. En cuanto al nivel, fue descriptivo, pues permitió especificar las características y propiedades de los factores analizados (Hernández *et al.*, 2010). Además, tuvo un alcance correlacional, ya que buscó determinar el grado de relación entre los factores socioeconómicos y los sistemas de producción de pitahaya, sin implicar necesariamente una relación causal (Fallis, 2013).

## ANÁLISIS DE DATOS

Los datos recolectados mediante cuestionarios fueron inicialmente organizados y procesados en una hoja de cálculo utilizando Microsoft Excel, versión Office 365. Posteriormente, la información fue exportada al software estadístico SPSS versión 23 (IBM Corp., 2015) para la generación de tablas de frecuencia y gráficos descriptivos.

Para evaluar el grado de relación entre las variables socioeconómicas y los sistemas productivos de pitahaya, se utilizó el software estadístico R, aplicando un análisis multivariado basado en el Análisis de Correspondencia Múltiple (MCA). Esta técnica exploratoria multidimensional permite estudiar las similitudes entre individuos y evaluar las asociaciones entre categorías de variables cualitativas, identificando patrones latentes en el conjunto de datos (Husson, 2007).

El MCA permitió representar las características de los factores socioeconómicos y las particularidades de los sistemas de producción de pitahaya en un espacio factorial, donde las categorías más similares se agrupan en proximidad. Esto facilitó la interpretación de las relaciones y agrupamientos existentes,

contribuyendo así a comprender la influencia conjunta de los factores socioeconómicos en la producción sostenible de pitahaya en las asociaciones analizadas.

## RESULTADOS

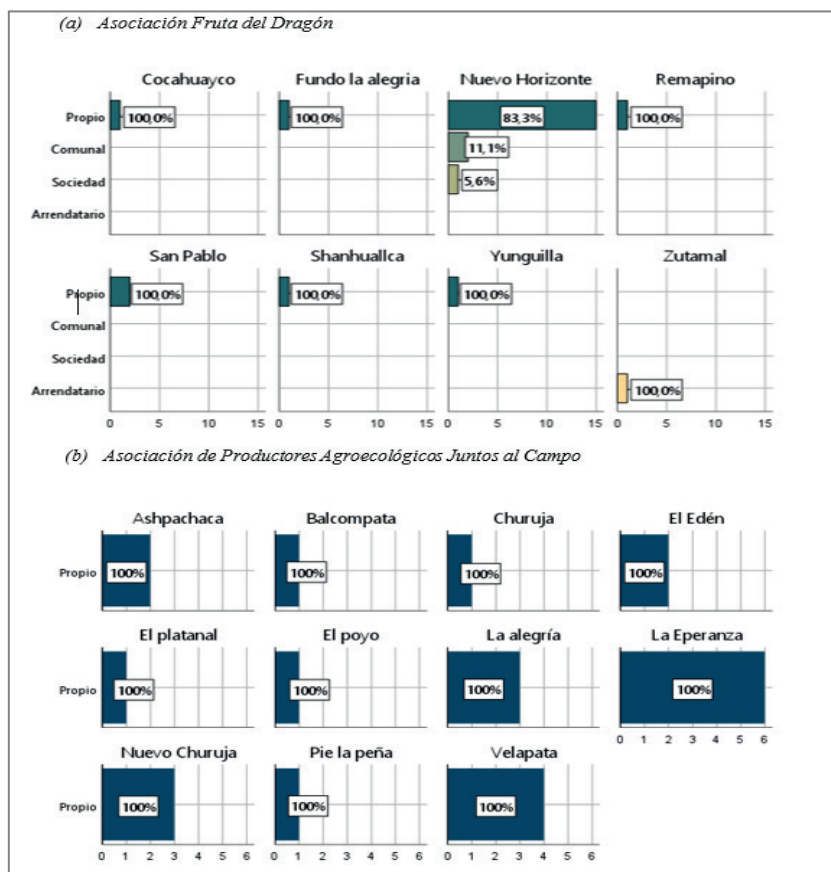
### **CARACTERIZAR LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS DE PITAHAYA EN LAS ASOCIACIONES PRODUCTORES AGROECOLÓGICOS LA COCA Y FRUTA DEL DRAGÓN EN LA PROVINCIA DE BONGARÁ, AMAZONAS, PERÚ**

Caracterizar los sistemas productivos permite comprender las condiciones técnicas, sociales y ambientales del cultivo de pitahaya. Como señalan Santana *et al.* (2020), "la caracterización de sistemas productivos es fundamental para comprender las dinámicas agrícolas locales, optimizar recursos y diseñar estrategias de mejora adaptadas a las condiciones específicas". En el caso de la pitahaya, esta caracterización identifica prácticas tradicionales y emergentes, así como desafíos técnicos y económicos (Verona *et al.*, 2020).

Asimismo, Braga (2010) y Chu & Chang (2020) destacan que conocer las particularidades de los sistemas en asociaciones agroecológicas facilita la promoción de modelos sostenibles que integran aspectos ambientales, sociales y económicos. En Amazonas, donde la pitahaya se cultiva en sistemas diversificados bajo condiciones climáticas específicas, esta caracterización es clave para impulsar la innovación y fortalecer la competitividad local (Obregón *et al.*, 2022).

En el estudio de los sistemas productivos de pitahaya en las asociaciones Productores Agroecológicos La Coca y Fruta del Dragón, se identificaron características diversas en cuanto a régimen de tenencia, extensión de terrenos, manejo del cultivo, uso de recursos, y resultados productivos.

**Figura 1 - Régimen del terreno.**



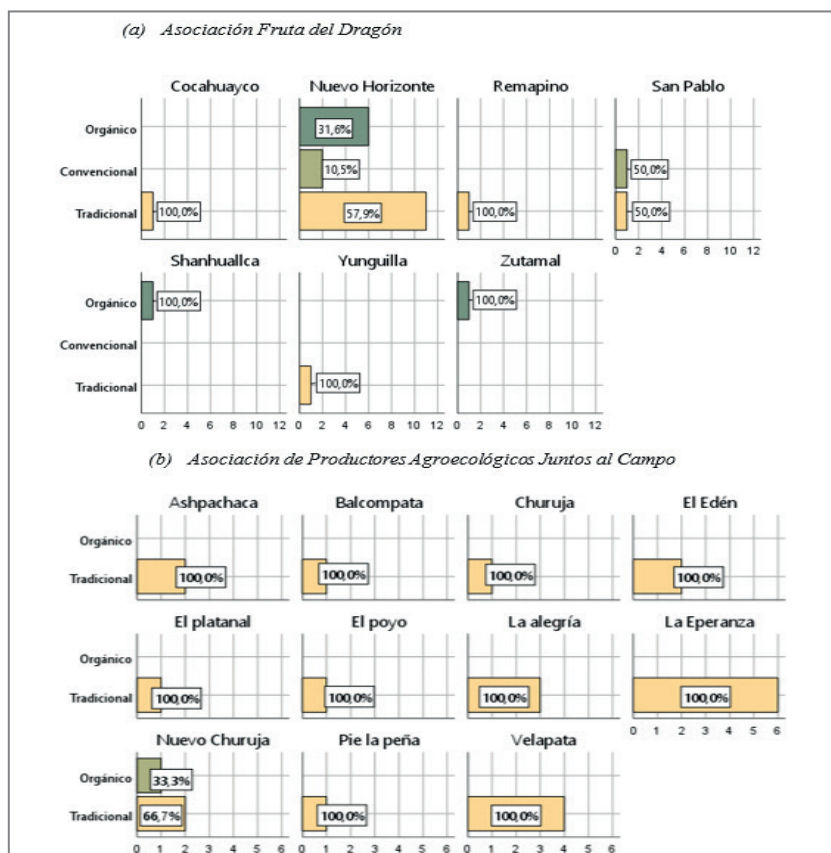
**Fuente:** Luna (2023).

Respecto al régimen de tenencia, en la asociación "Juntos al Campo", el 100 % de los productores son propietarios de sus tierras. En cambio, en "Fruta del Dragón", el 11,1 % trabaja tierras comunales, el 5,6 % en sociedad y, en el sector Zutamal, el 100 % son arrendatarios. También, en extensión de terrenos, la mayoría de los productores de ambas asociaciones trabajan parcelas de 0.5 ha. Excepcionalmente, en sectores como Cocahuayco hay parcelas de hasta 1.5 ha, y en Nuevo Horizonte un pequeño porcentaje (5,3 %) posee 2 ha.

Asimismo, en el manejo del cultivo, el manejo predominante es el tradicional. Sin embargo, en sectores como Nuevo Churuja, Zutamal y Shanhuallca se registró una transición hacia manejos orgánicos, mientras que en otros como San Pablo y Nuevo Horizonte se combina el manejo convencional con el tradicional

y orgánico. Por otro lado, respecto a las fuentes de agua, los manantiales y el agua de lluvia son las principales fuentes de riego. En sectores como Ashpachaca y Pie la Peña se usa agua de manantiales; en cambio, en Cocahuayco y Shanhualca predomina el uso de agua de lluvia. En Nuevo Horizonte, las fuentes de agua son variadas: ríos, manantiales y lluvia. Tipo de suelo, el suelo más común es el limo. En sectores como Ashpachaca y Balcompata predomina este tipo, mientras que en sectores como Nuevo Horizonte se observan terrenos pedregosos, arcillosos barrocos y arenosos. Por otro lado, la fuerza de trabajo familiar, el uso de mano de obra familiar varía considerablemente. En algunos sectores, como San Pablo y Yunguilla, dependen completamente de ella, mientras que en otros como La Esperanza y Nuevo Churuja su uso es poco frecuente o nulo. De acuerdo al volumen de cosecha, la producción promedio por campaña es de 1,000 kg en la mayoría de sectores. Sin embargo, algunos como El Poyo y La Esperanza alcanzan cosechas de hasta 3,000 y 5,000 kg, respectivamente. En Nuevo Horizonte, un pequeño grupo (10,5 %) logró hasta 2,000 kg. Finalmente, la frecuencia de cosecha anual, en la mayoría de sectores de ambas asociaciones, el 100 % de los productores cosecha dos veces al año. No obstante, en sectores como Churuja y Velapata, algunos productores solo lograron una cosecha durante el último año.

**Figura 2 - Manejo de Sembrío de Pitahaya.**



Fuente: Luna (2023).

## IDENTIFICAR Y EVALUAR LOS FACTORES SOCIOECONÓMICOS DE LAS FAMILIAS INVOLUCRADAS EN LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS DE PITAHAYA EN LAS ASOCIACIONES MENCIONADAS

De acuerdo al nivel de Instrucción en la Asociación Fruta del Dragón, la Esperanza, 33.3% con educación superior universitaria, 16.7% con educación técnica superior y 50% con nivel primario. Balcompata, El Edén, El Platanal y Pie la Peña, 100% con educación primaria. La Alegría: 33.3% con educación técnica superior y 66.7% con nivel secundario. En la Asociación de Productores Agroecológicos Juntos al Campo, en Cocahuayco: 100% con educación técnica superior, fundo La Alegría: 100% con nivel primario, shanhualca y Remapino: 100% con nivel secundario y Zutamal, 100% sin estudios formales.



El Tipo de Vivienda, en la Asociación Fruta del Dragón, en Churuja, El Platanal, Nuevo Churuja y Velapata: 100% con viviendas de adobe, Ashpachaca: 50% con viviendas de material noble y 50% de adobe. La Esperanza: 50% con viviendas de material noble, 16.7% de adobe y 33.3% de calamina. Asociación de Productores Agroecológicos Juntos al Campo, Cocahuayco, Fundo La Alegría, Remapino, San Pablo, Shanhualca, Yunguilla y Zutamal 100% con viviendas de adobe, Nuevo Horizonte: 16.7% con viviendas de material noble, 66.7% de adobe, 5.6% de madera y calamina respectivamente, y 5.6% sin vivienda.

En cuanto Participación en Capacitaciones Técnicas, la Asociación Fruta del Dragón, Ashpachaca, Balcompata, Churuja, El Edén, El Platanal, El Poyo, La Esperanza, Nuevo Churuja, Pie la Peña y Velapata: 100% participan ocasionalmente, en la Alegría: 33.3% participan frecuentemente y 66.7% ocasionalmente. La Asociación de Productores Agroecológicos Juntos al Campo, el fundo La Alegría, Remapino, Shanhualca, Yunguilla y Zutamal: 100% participan muy frecuentemente, en Cocahuayco y San Pablo: 100% participan frecuentemente.

En participación en Decisiones Asociativas, la Asociación Fruta del Dragón, en Ashpachaca, Balcompata, Churuja, El Edén, El Platanal, El Poyo, La Alegría, La Esperanza, Nuevo Churuja y Pie la Peña: 100% participan frecuentemente, Velapata: 25% participan ocasionalmente y 75% frecuentemente. En la Asociación de Productores Agroecológicos Juntos al Campo, el Fundo La Alegría y Shanhualca: 100% participan frecuentemente. Yunguilla: 100% participan ocasionalmente y Cocahuayco y Remapino: 100% participan raramente.

Por otro lado, el origen del Capital de Trabajo, en el Asociación Fruta del Dragón, Ashpachaca, Balcompata, Churuja, El Edén, El Platanal, El Poyo, La Esperanza, Nuevo Churuja, Pie la Peña y Velapata: 100% utilizan recursos propios, La Alegría: 33.3% utilizan préstamos informales y 66.7% recursos propios. En la Asociación de Productores Agroecológicos Juntos al Campo, Cocahuayco, Fundo La Alegría, Remapino, San Pablo, Shanhualca, Yunguilla y Zutamal: 100% utilizan recursos propios y en Nuevo Horizonte: 5.6% utilizan recursos de ONGs, 11.1% de préstamos informales y 83.3% recursos propios.

El Monto Inicial del Capital de Trabajo, en la Asociación Fruta del Dragón, Churuja y El Platanal: 100% invirtieron entre S/ 1,500 y S/ 2,500, El Poyo y Pie la Peña: 100% invirtieron entre S/ 3,501 y S/ 4,500, La Alegría: 33.3% invirtieron entre S/ 2,501 y S/ 3,500 y 66.7% entre S/ 1,500 y S/ 2,500, en la La Esperanza:

33.3% invirtieron entre S/ 3,501 y S/ 4,500, 16.7% entre S/ 2,501 y S/ 3,500 y 50% entre S/ 1,500 y S/ 2,500. También, en la Asociación de Productores Agroecológicos Juntos al Campo, Cocahuayco, Fundo La Alegría, Remapino, Yunguilla y Zutamal: 100% invirtieron entre S/ 1,500 y S/ 2,500 y San Pablo: 50% invirtieron más de S/ 5,501 y el resto entre S/ 3,501 y S/ 4,500.

**ANALIZAR LA RELACIÓN ENTRE LOS FACTORES SOCIOECONÓMICOS Y LA SOSTENIBILIDAD DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS DE PITAHAYA EN LA PROVINCIA DE BONGARÁ, AMAZONAS, PERÚ**

Se utilizaron baremos para sistematizar la evaluación de los factores socioeconómicos y los sistemas de producción vinculados al cultivo de pitahaya. Cada dimensión evaluada (social, económica, condiciones del terreno, criterios de elección, forma de trabajo, tecnología, y comercialización) fue clasificada en tres niveles: bajo, medio y alto, asignando puntajes para facilitar el análisis de correspondencia múltiple (MCA). Esta técnica permitió observar cómo se distribuyen los niveles en cada sector y entender de manera integral la situación socioeconómica y productiva de los productores.

**Tabla 3 -** Tabla de baremo de los factores socioeconómicos y sistemas de producción de pitahaya.

| Dimensiones                                                       | Nivel y puntaje |        |         |
|-------------------------------------------------------------------|-----------------|--------|---------|
|                                                                   | Bajo            | Medio  | Alto    |
| Factor social                                                     | 10 - 23         | 24 -37 | 38-50   |
| Factor económico                                                  | 9 - 21          | 22-34  | 35-45   |
| Características del terreno de cultivo de pitahaya                | 6-14            | 15-23  | 24-30   |
| Criterios de elección del terreno de cultivo de pitahaya          | 5-11            | 12-18  | 19-25   |
| Formas de trabajo y nivel de producción en el cultivo de pitahaya | 5-11            | 12-18  | 19-25   |
| Tecnología y gestión ambiental en siembra de pitahaya             | 12-28           | 29-45  | 46-60   |
| Cosecha, postcosecha y comercialización del cultivo de pitahaya   | 6-14            | 15-23  | 24-30   |
| Variables                                                         | Bajo            | Medio  | Alto    |
| Factores socioeconómicos                                          | 19-44           | 45-70  | 71-95   |
| Sistema productivo                                                | 34-79           | 80-125 | 126-170 |

Fuente: Luna (2023).

Factores Socioeconómicos, incluye variables como nivel educativo, edad, acceso a servicios básicos, participación en asociaciones, acceso a crédito y programas estatales. El MCA reveló que: En la Asociación Fruta del Dragón, predominan dos niveles sociales: medio y alto. Las dos primeras dimensiones explican el 54.8% de la variabilidad total, con la Dimensión 1 (28.5%) marcando la principal diferencia entre niveles.

En la Asociación Juntos al Campo, la dispersión de los datos es mayor y la variabilidad total explicada es menor (38.9%), siendo la Dimensión 1 (21.7%) la más relevante para distinguir niveles sociales.

Factor Económico, Incluye capital de trabajo, inversión inicial, ingresos por ventas, uso del crédito y fuentes de financiamiento. Se identificaron tres niveles: bajo, medio y alto. En la Asociación Fruta del Dragón, la Dimensión 1 (28.5%) distingue claramente los tres niveles. En la Asociación Juntos al Campo, la explicación total es del 38.9%, destacando la Dimensión 1 (21.7%) como la principal diferenciadora.

Sistema Productivo, Condiciones del Terreno, evaluadas con base en régimen de propiedad, extensión del cultivo, acceso al agua y accesibilidad. Esto permite planificar una producción eficiente y sostenible. En Fruta del Dragón, se identificaron niveles bajo y medio, con la Dimensión 1 (28.5%) como principal factor de discriminación. En Juntos al Campo, se presentan tres niveles (bajo, medio, alto), explicando un 38.9% de la variabilidad. La Dimensión 1 (21.7%) permite una mejor diferenciación.

**Tabla 4 -** Aplicación de abono y fertilizantes según la edad de cultivo de pitahaya.

| Edad del cultivo | Nitrógeno (kg/ha) | Fósforo (kg/ha) | Potasio (kg/ha) |
|------------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| Año 1            | 95                | 33              | 100             |
| Año 2            | 140               | 50              | 150             |
| Año 3            | 187               | 66              | 198             |
| Año 4 al 20      | 187               | 66              | 198             |

**Fuente:** Sánchez (2018).

Criterios de Elección del Terreno, Considera accesibilidad, tipo de suelo, topografía, clima y disponibilidad de agua: Fruta del Dragón: niveles medio y alto, con la Dimensión 1 explicando 28.5% de la varianza. Juntos al Campo:

misma clasificación, pero menor explicación total (38.9%), destacando también la Dimensión 1 (21.7%).

**Tabla 5 - Características básicas para el cultivo de pitahaya en la región Amazonas.**

| Variable                     | Características                                       |
|------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Clima                        | Cálido subhúmedo y clima seco                         |
| Temperatura                  | Entre 18 °C y 25 °C                                   |
| Humedad                      | 70 % – 80 %                                           |
| Suelo                        | Bien drenado y con alto contenido de materia orgánica |
| Altitud                      | 700 – 1 900 m.s.n.m.                                  |
| Precipitación                | 1 200 – 2 500 mm/año                                  |
| pH del suelo                 | 5.5 – 6.5                                             |
| Sombra                       | 40 % a 60 %                                           |
| Exposición a la luz solar    | 50 %                                                  |
| Materia orgánica en el suelo | Alto contenido                                        |

**Fuente:** Guía técnica del cultivo de Pitahaya (*Hylocereus megalanthus*) en la región Amazonas.

Forma de Trabajo y Producción, evaluación basada en el uso de mano de obra familiar, cantidad producida y número de cosechas al año: En ambas asociaciones se observaron niveles bajo y medio, con la Dimensión 1 nuevamente como la principal variable explicativa (28.5% en Fruta del Dragón y 21.7% en Juntos al Campo).

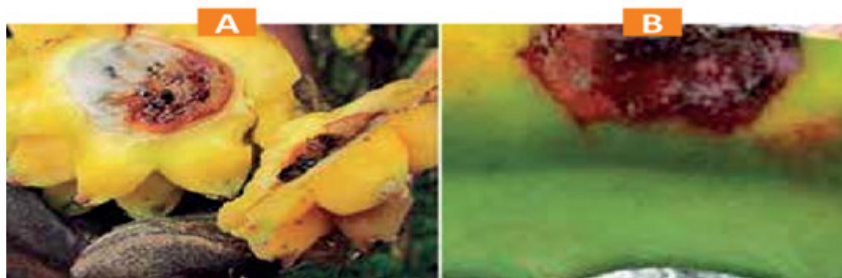
**Tabla 6 - Criterios para el manejo del cultivo de pitahaya en la región Amazonas.**

| Variable                     | Características                              |
|------------------------------|----------------------------------------------|
| Época de siembra             | De abril a setiembre                         |
| Época de cosecha             | De junio a octubre                           |
| Máxima edad de la planta     | 15 a 20 años                                 |
| Número de cosechas al año    | Tres veces por año                           |
| Número de cortes por cosecha | 4 o 5 cortes; tiempo: un mes                 |
| Distanciamiento              | 3 m x 3 m                                    |
| Densidad de siembra          | 1 111 tutores (cada tutor con 3 - 4 plantas) |
| Medio de propagación         | Esquejes                                     |
| Método de riego              | Gravedad, goteo y aspersión                  |
| Rendimiento                  | 10 a 15 toneladas por hectárea               |
| Densidad de producción       | 4 a 7 kilos de fruto por planta              |

**Fuente:** Guía técnica del cultivo de Pitahaya (*Hylocereus megalanthus*) en la región Amazonas.

Tecnología y Gestión Ambiental, se analizaron técnicas de siembra, control de plagas, uso de tutores y prácticas de sostenibilidad:

**Figura 4** - Enfermedades y plagas de la Pitahaya.



**Fuente:** Guía técnica del cultivo de Pitahaya (*Hylocereus megalanthus*) en la región Amazonas; A) En fruto B) En penca.

En ambas asociaciones predominan niveles medio y bajo, con una representación mayor en la Dimensión 1 (28.5% en Fruta del Dragón; 21.7% en Juntos al Campo), lo cual indica una moderada adopción tecnológica.

Cosecha, Postcosecha y Comercialización, incluye métodos de recolección, selección, uso de equipos y canales de venta: se identificaron niveles bajo y medio. En Fruta del Dragón, la Dimensión 1 (26.7%) presenta mejor representación. En Juntos al Campo, la misma dimensión explica 21.7%. Relación entre Factores Socioeconómicos y Sistema Productivo, el análisis de correspondencia múltiple muestra asociaciones relevantes entre las variables: En Fruta del Dragón, factores sociales y criterios de elección del terreno están estrechamente relacionados.

Factores económicos, condición del terreno y forma de trabajo y producción presentan proximidad, sugiriendo una interdependencia.

En Juntos al Campo, factor social y criterios de elección del terreno se relacionan en la Dimensión 2 (17.2%). El factor económico, condiciones del terreno y formas de trabajo se agrupan en la Dimensión 1 (21.7%). En tecnología y comercialización también se sitúan cerca del origen, reflejando menor integración con los otros factores.

## DISCUSIÓN

La presente investigación ha permitido evidenciar cómo los factores socioeconómicos influyen directamente en la sostenibilidad y la configuración de los sistemas de producción de pitahaya en asociaciones agrícolas de la provincia de Bongará. A través del análisis de correspondencia múltiple (MCA), se identificó una interdependencia significativa entre variables sociales, económicas, estructurales y organizacionales, revelando patrones diferenciados entre las asociaciones estudiadas.

En el caso de la Asociación Fruta del Dragón, se observa una mayor homogeneidad en los factores sociales y económicos, lo que sugiere la existencia de una red de apoyo interna consolidada, donde el intercambio de conocimientos y recursos facilita la estabilidad productiva. Este hallazgo coincide con lo reportado por Rodríguez *et al.* (2021), quienes destacan que las redes colaborativas fortalecen las capacidades colectivas y promueven sistemas agrícolas más resilientes. Por el contrario, la Asociación de Productores Agroecológicos Juntos al Campo muestra mayor heterogeneidad socioeconómica, lo que puede reflejar tanto desafíos —como desigualdad en acceso a insumos y formación técnica— como oportunidades, al fomentar la diversidad de estrategias productivas y la innovación individual (IANAS, 2017; González *et al.*, 2023).

Estas diferencias estructurales subrayan la necesidad de aplicar políticas diferenciadas que consideren el contexto y características propias de cada organización, como lo propone la FAO (2014) para el diseño de intervenciones rurales más eficaces y sostenibles. En esta línea, las inversiones en capital humano —particularmente en educación agrícola, formación técnica y liderazgo asociativo— se perfilan como elementos clave para elevar la productividad y sostenibilidad del cultivo de pitahaya (Pérez *et al.*, 2023).

Asimismo, el acceso limitado a servicios básicos y financiamiento continúa siendo un factor restrictivo para el crecimiento de estos sistemas productivos. Estudios como los de Olmos (2017) y Purroy *et al.* (2016) han demostrado que condiciones socioeconómicas robustas son fundamentales para permitir prácticas agrícolas eficientes y sostenibles. Por ello, el fortalecimiento de capacidades institucionales y el diseño de políticas integradas deben enfocarse en mejorar

simultáneamente las condiciones sociales, técnicas y económicas del entorno agrícola (Hernández, 2019).

En relación con las formas de organización del trabajo, se identificó que muchos productores operan en niveles bajos a medios tanto en condiciones socioeconómicas como en eficiencia productiva. Esta situación representa una limitación estructural para el escalamiento y la innovación, tal como lo advierten Solís (2016) y Barrón & Contreras (2023). La implementación de modelos de trabajo más estructurados, junto con una mayor capacitación técnica, puede no solo elevar la productividad sino también contribuir a mejorar la calidad de vida de las familias rurales.

Los cultivos en Churuja, Jazán, Shipasbamba, San Pablo de Valera y San Gerónimo, ambos ubicados en la provincia de Bongará cuentan con aproximadamente 30 hectáreas de cultivo de pitahaya (*Hylocereus megalanthus*), tiene un rendimiento de 10 a 15 toneladas por hectárea, con un aproximado de entre 4 a 7 kg de fruto por planta, con 2 cosechas anuales aproximadamente entre mayo - junio y octubre - noviembre. Sin embargo, se ha identificado plagas tales como (mosca del botón floral (*Dasiops ssp*) y querezas), enfermedades como ojos de pez y antracnosis, en consecuencia, se han implementado el manejo integrado de plagas (MIP) como las trampas amarillas con pegamento, las podas sanitarias, aplicación de insecticidas, fungicidas y buenas prácticas agrícolas (BPA) entre ello se tiene la capacitación técnica, producción de semillas certificadas y manejo adecuado del suelo.

En cuanto al uso de tecnología y gestión ambiental, los resultados muestran un margen importante de mejora. A pesar de su relevancia, estas variables actúan de manera más aislada del resto del sistema, lo que podría deberse a la baja adopción de tecnologías apropiadas o la limitada articulación con prácticas sostenibles. Sonnino & Ruane (2011) destacan que la innovación tecnológica orientada a la sostenibilidad tiene el potencial de transformar los sistemas agrícolas, mejorando la eficiencia en el uso de recursos y aumentando la resiliencia frente al cambio climático.

Del mismo modo, los procesos de cosecha, postcosecha y comercialización presentan oportunidades sustanciales de desarrollo. Mejorar estas fases es fundamental para asegurar la calidad del producto, reducir pérdidas y fortalecer la competitividad en el mercado. Según Leyva *et al.* (2023), una gestión

postcosecha eficiente es clave para preservar el valor del producto, mientras que estrategias de comercialización bien diseñadas amplían el acceso a mercados más rentables y diversificados (Arguello *et al.*, 2022).

En conjunto, los hallazgos de este estudio resaltan la complejidad del sistema de producción de pitahaya y la necesidad de un enfoque integrado que combine desarrollo socioeconómico, innovación tecnológica y gestión sostenible. La diferencia en la intensidad de la relación entre factores socioeconómicos y los sistemas productivos observada entre ambas asociaciones sugiere que la cohesión organizacional y el nivel de articulación interna pueden influir decisivamente en la sostenibilidad y eficiencia de los modelos productivos.

## CONCLUSIONES

Futuros estudios pueden profundizar en el análisis longitudinal de estas asociaciones y en la incorporación de enfoques participativos para el diseño de intervenciones.

En ambas asociaciones —Fruta del Dragón y Productores Agroecológicos Juntos al Campo— se observó que la elección del terreno para el cultivo está fuertemente influenciada por factores sociales como la tradición, el conocimiento empírico y la interacción comunitaria.

El análisis multivariado mostró que el sistema productivo de la pitahaya en ambas asociaciones está principalmente influenciado por factores económicos, condiciones del terreno y formas de trabajo. En cambio, aspectos como tecnología, gestión ambiental y comercialización actúan de forma más independiente y tienen un impacto directo menor en la estructura del sistema productivo.

La relación entre el bienestar de los productores y la eficacia del cultivo de pitahaya destaca la importancia de fortalecer la educación agrícola, el acceso a financiamiento y las redes de colaboración local para mejorar la productividad, sostenibilidad y desarrollo rural en Bongará.

La homogeneidad socioeconómica en la Asociación Fruta del Dragón indica una comunidad cohesionada que favorece prácticas productivas eficientes. Para mantener y mejorar esta dinámica, se sugiere fortalecer la organización, ampliar la capacitación técnica y facilitar el acceso a recursos productivos.



## RECOMENDACIONES

Promover estrategias diferenciadas de asistencia técnica y planificación productiva, adaptadas a las condiciones específicas de cada sector (tenencia de tierras, tipo de suelo, acceso al agua, manejo del cultivo y fuerza laboral), con énfasis en la transición hacia prácticas sostenibles y el aumento de la productividad.

Implementar programas integrales de formación técnico-productiva con enfoque territorial, que incluyan: capacitaciones permanentes y descentralizadas, promoción del acceso a microcréditos formales y fondos rotatorios y fomento de la participación activa en decisiones asociativas, especialmente en sectores donde esta es baja, como Cocahuayco y Remapino, para fortalecer la gobernanza y sostenibilidad organizativa.

Fortalecer la articulación entre estos elementos y los factores socioeconómicos y productivos mediante estrategias de innovación rural integradas: capacitación técnica enfocada en prácticas agroecológicas y tecnologías adaptadas, promoviendo su adopción progresiva en ambos niveles sociales y productivos, mejorar las capacidades para la postcosecha y comercialización, a través del acceso a equipamiento básico, capacitación en estándares de calidad y conexión con mercados diferenciados y diseño de planes productivos diferenciados por nivel socioeconómico y productivo, considerando las condiciones específicas de cada asociación para optimizar el uso del terreno, el trabajo familiar y los recursos económicos.

## REFERENCIAS

ALTIERI, M., & NICHOLLS, C. (2017). Agroecología: principios y estrategias para la sostenibilidad agrícola. **Editorial Siglo XXI**.

AMITHA, S., KUMAR, P., & SINGH, R. (2023). Impacto de los factores socioeconómicos en la sostenibilidad de la producción agrícola. **Journal of Rural Development**, 42(1), 15-28.

BANCO CENTRAL DE RESERVA DEL PERÚ (BCRP). (2023). *Informe Económico Regional: Amazonas*. Lima, Perú. Recuperado de <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Documentos-de-Trabajo/2023/informe-economico-amazonas.pdf>.

BANCO CENTRAL DE RESERVA DEL PERÚ (BCRP). (2023). *Informe Económico Regional: Amazonas*. Lima, Perú. Recuperado de <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Documentos-de-Trabajo/2023/informe-economico-amazonas.pdf>.

BETANCUR, J., PÉREZ, L., & GÓMEZ, R. (2020). Producción y comercialización de pitahaya amarilla en América Latina. *Revista Latinoamericana de Ciencias Hortícolas*, 22(3), 89-102.

BORODINA, I., & PROKOPA, A. (2023). Redes sociales y cooperación entre agricultores en la gestión sostenible de recursos. *Agricultural Systems*, 185, 102-115.

BRAGA, J. (2010). Retos técnicos y socioeconómicos en la producción de pitahaya. *Revista de Estudios Agrarios*, 8(1), 23-35.

BRAGA, L. (2010). *Sistemas productivos y sostenibilidad*. Editorial Agroecológica.

CAROLINA, M., & BASTIDAS, J. (2013). Distribución y ecología de *Hylocereus megalanthus* en Colombia. *Revista Colombiana de Biología*, 44(1), 12-20.

CEPAL, FAO, & IICA. (2021). Políticas públicas para fortalecer las cadenas de valor agrícolas en América Latina. Santiago: CEPAL.

CHU, C., & CHANG, C. (2020). Innovaciones tecnológicas en el cultivo de pitahaya: enfoque hidropónico y agroecológico. *Revista de Tecnología Agrícola*, 12(3), 102-115.

Chu, X., & Chang, S. (2020). Agroecological systems and their impact on local economies. *Journal of Sustainable Agriculture*, 45(4), 356-370.

CUSCOPERU. (S.F.). *Clima en la selva del Perú*. Recuperado de <https://www.cuscoperu.com/es/informacion-util/geografia-y-climas/clima-en-la-selva/>.

DÍAZ, R. (2023). Análisis de factores socioeconómicos en la producción sostenible de pitahaya en la provincia de Bongará, Amazonas. **Tesis de maestría**, Universidad Nacional Agraria La Molina.

DÍAZ, R. (2023). Factores socioeconómicos en la sostenibilidad de la producción agrícola de pitahaya. *Revista de Desarrollo Rural*, 30(2), 58-71.

GESTIÓN. (2024, FEBRERO 27). *Senamhi: Lluvias registradas en la Amazonía favorecerían campaña agrícola 2024-2025*. Recuperado de <https://gestion.pe/peru/senamhi-lluvias-registradas-en-la-amazonia-favorecerian-campana-agricola-2024-2025-clima-en-peru-noticia/>.

IBM CORP. (2015). **IBM SPSS Statistics for Windows** (Versión 23) [Software]. IBM Corp.

INFOBAE. (2025, MARZO 3). *Selva peruana en alerta roja: SENAMHI pronostica eventos climatológicos de gran magnitud y de intensidad extrema*. Recuperado de <https://www.infobae.com/peru/2025/03/03/selva-peruana-en-alerta-roja-senamhi-pronostica-eventos-climatologicos-de-gran-magnitud-y-de-intensidad-extrema/>.

INIA. (2020). Guía Técnica del cultivo de pitahaya (*Hylocereus megalanthus*) en la región Amazonas. **Instituto Nacional de Innovación Agraria**. Recuperado de <https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/1052repositorio.inia.gob.pe+5repositorio.inia.gob.pe+5repositorio.inia.gob.pe+5>.

MARICIELO, P., RODRÍGUEZ, J., & FERNÁNDEZ, A. (2022). Recursos financieros e infraestructura en la producción sostenible de pitahaya. *Revista de Economía Agrícola*, 19(4), 89-102.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO (MINAGRI). (2022). *Anuario Estadístico Agropecuario: Amazonas*. Lima, Perú. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/minagri/informes-publicaciones>.

- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO (MINAGRI). (2022). *Anuario Estadístico Agropecuario: Amazonas*. Lima, Perú. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/minagri/informes-publicaciones>.
- MINISTERIO DE COMERCIO EXTERIOR Y TURISMO (MINCETUR). (2021). *Estadísticas del Turismo Regional: Amazonas*. Lima, Perú. Recuperado de <https://www.mincetur.gob.pe/turismo-estadisticas>.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE DEL PERÚ (MINAM). (2021). *Biodiversidad y conservación en la Amazonía peruana*. Lima, Perú. Recuperado de <https://www.minam.gob.pe/biodiversidad/>.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE DEL PERÚ (MINAM). (2021). *Biodiversidad y conservación en la Amazonía peruana*. Lima, Perú. Recuperado de <https://www.minam.gob.pe/biodiversidad/>.
- OBREGÓN, J., ET AL. (2022). Cultivo de pitahaya en Amazonas: retos y oportunidades. **Revista Peruana de Agronomía**, 18(1), 22-34.
- OBREGÓN, P., RODRÍGUEZ, A., & SÁNCHEZ, M. (2022). Situación actual y perspectivas de la producción de pitahaya en Perú. **Revista Peruana de Ciencias Agrarias**, 49(1), 34-47.
- ORGANIZACIÓN PARA LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD PERUANA (OCBP). (2022). *Informe sobre fauna silvestre en Amazonas*. Lima, Perú. Recuperado de <https://www.ocbp.org.pe/informes/fauna-amazonas>.
- ORGANIZACIÓN PARA LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD PERUANA (OCBP). (2022). *Informe sobre fauna silvestre en Amazonas*. Lima, Perú. Recuperado de <https://www.ocbp.org.pe/informes/fauna-amazonas>.
- SALOMÓN, J., DÍAZ, R., & SOTO, M. (2022). Fortalecimiento de cadenas de valor de la pitahaya mediante políticas públicas e innovación tecnológica. *Revista de Desarrollo Rural*, 31(1), 45-58.
- SANTANA, M., ET AL. (2020). Caracterización de sistemas productivos en cultivos tropicales. *Agricultura y Ambiente*, 12(3), 45-59.
- SANTANA, M., MARTÍNEZ, J., & PÉREZ, F. (2020). Sistemas productivos de pitahaya: tradicional, hidropónico y agroecológico. **Revista de Agricultura Sostenible**, 18(2), 77-89.
- SIERRA Y SELVA EXPORTADORA. (2015). Informe sobre la producción de pitahaya en las regiones de Amazonas y San Martín. Lima: Selva Exportadora.
- SIERRA, E., & SELVA EXPORTADORA. (2015). Informe sobre la producción de pitahaya en las regiones de Amazonas y San Martín. Lima: Selva Exportadora.
- SOCIEDAD PERUANA DE ECOLOGÍA (SPE). (2023). *Estado de conservación y retos ambientales en la región Amazonas*. Lima, Perú. Recuperado de <https://www.spe.org.pe/publicaciones/amazonas-2023>.
- SOTOMAYOR, M., DÍAZ, R., & SALOMÓN, J. (2019A). Análisis de la cadena de valor de la pitahaya en Colombia. **Revista de Ciencias Agropecuarias**, 36(2), 45-58.
- SOTOMAYOR, M., DÍAZ, R., & SALOMÓN, J. (2019B). Estrategias para la sostenibilidad de la producción de pitahaya en América Latina. **Revista de Ciencias Agropecuarias**, 37(2), 23-35.
- TAYNAH, M., RODRÍGUEZ, A., & SÁNCHEZ, J. (2014). Capacitación y competitividad en la producción de pitahaya. **Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales**, 28(3), 67-80.
- UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA (UNTRM). (2023). *Análisis del Desarrollo Económico y Retos en Amazonas*. Chachapoyas, Perú. Recuperado de <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/123456789/amazonas2023>.

VARGAS-TIERRAS, Y., BURBANO, R. A., BUITRÓN, L. A., VALVERDE, L. G., & LÓPEZ MONTAÑEZ, R. N. (2021). Pitahaya (*Hylocereus* spp.): Cultivo, características fisicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos. *Scientia Agropecuaria*. Recuperado de <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop/article/view/3062> Revistas UNT.

VERONA, J., LÓPEZ, G., & DÍAZ, R. (2020). Evaluación de sistemas productivos de pitahaya en la región amazónica. **Revista de Investigación Agrícola**, 25(1), 45-59.

VERONA, P., ET AL. (2020). Innovaciones en el cultivo de pitahaya en regiones tropicales. **Revista Científica Agroforestal**, 15(2), 98-112.

## COMPORTAMENTO BIÓTICO E ABIÓTICO DO GLIFOSATO E DE SEU METABÓLITO (AMPA)

**Vicente Guilherme Handte**

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)>

**Valéria Ortaça Portela**

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)>

**Juliano Borela Magalhães**

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)>

**Eduarda Pereira de Pereira**

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)>

**Rodrigo Ferraz Ramos**

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)>

**Tânia Mara dos Santos**

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)>

# RESUMO

O objetivo deste estudo é revisar o comportamento do glifosato e de seu metabólito AMPA no ambiente, abordando sua dinâmica em meios abióticos e bióticos e sua presença em alimentos. O glifosato é o herbicida mais utilizado no mundo e sua ampla aplicação decorre da eficácia no controle de plantas daninhas, especialmente após a adoção de culturas geneticamente modificadas resistentes. Apesar de ser considerado de baixa toxicidade aguda, seu comportamento ambiental revela complexas interações químicas, físicas e biológicas. No solo, o glifosato é fortemente adsorvido por frações minerais e matéria orgânica, apresentando baixa mobilidade e degradação predominantemente microbiana, com formação do metabólito AMPA, altamente persistente. Em ambientes aquáticos o herbicida pode permanecer por longos períodos, especialmente em sedimentos, sendo transportado por erosão hídrica ou por partículas em suspensão. No ar, ocorre principalmente associado a poeiras finas, representando risco ocupacional em regiões agrícolas. Além disso, resíduos de glifosato e AMPA também são detectados em alimentos, variando conforme práticas agrícolas e processos de beneficiamento. Estudos em animais, plantas e microrganismos indicam que, além dos efeitos diretos, o herbicida pode alterar comunidades microbianas, processos fisiológicos e dinâmicas ecológicas sutis. Assim, compreender o comportamento biótico e abiótico do glifosato e de seu metabólito AMPA é fundamental para avaliar riscos ambientais e subsidiar práticas agrícolas mais sustentáveis.

**Palavras-chave:** Agrotóxico; Herbicida; Plantas Daninhas; Agricultura.

## INTRODUÇÃO

Como a agricultura antecede o surgimento da escrita, existem poucas evidências precisas sobre seus primórdios. Ainda assim, sabe-se que sua emergência foi um dos fatores decisivos para a transição do Paleolítico para o Neolítico, na Pré-história. A teoria mais aceita indica que o cultivo de plantas surgiu a partir da observação, por grupos de caçadores-coletores, de que sementes provenientes das plantas coletadas germinavam quando enterradas no solo. Embora não seja possível determinar com exatidão como esse processo ocorreu, é consenso o que a agricultura transformou profundamente, e continua transformando, o modo de vida das sociedades humanas. Desde as tecnologias mais arcaicas até as de última geração, todas resultaram em transformações nos modos de produção agrícola (CAREY, 2023).

O crescimento contínuo da população mundial ao longo dos últimos séculos gerou uma necessidade proporcional de produção de alimentos. Para atender a essa necessidade, diversas tecnologias foram desenvolvidas e incorporadas aos sistemas agrícolas, com destaque para os fertilizantes sintéticos e os agroquímicos, que se tornaram fundamentais para alcançar elevados níveis produtivos (RAMOS *et al.*, 2018). A combinação entre praticidade, baixo custo e menor demanda por mão de obra impulsionou o uso intensivo desses insumos, resultando em incrementos expressivos de sua aplicação ao longo do tempo. Entre os agroquímicos, os herbicidas constituem o grupo mais amplamente empregado, desempenhando papel central no manejo de plantas daninhas/espontâneas que competem com as plantas de interesse por espaço, nutrientes e radiação solar (CASIMERO *et al.*, 2022; SHEKHAWAT *et al.*, 2022).

Antes do advento dos herbicidas, a capina constituía a principal técnica de controle de plantas daninhas, demandando grande quantidade de mão de obra e elevado esforço físico. Por essa razão, os herbicidas passaram a ganhar destaque na agricultura, especialmente em áreas de grande extensão. Entre eles, um dos compostos mais utilizados é o glifosato (N-(fosfometil)glicina). Trata-se de um herbicida não seletivo, eficaz no controle tanto de monocotiledôneas quanto de dicotiledôneas, o que viabiliza sua aplicação sobre ampla diversidade de espécies vegetais. Associado às tecnologias de resistência induzida (organismos geneticamente modificados), o glifosato transformou

significativamente os sistemas agrícolas: quando aplicado em lavouras cujas culturas apresentam genes de resistência, apenas as plantas suscetíveis são afetadas, preservando-se a cultura de interesse (LI *et al.*, 2025; RUSLI *et al.*, 2025).

O glifosato é uma molécula de baixa massa molecular constituída por três grupos funcionais polares (carboxílico, amino e fosfonato). Seu modo de ação ocorre pela inibição da enzima 5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato sintase (EPSPs), resultando na interrupção da rota biossintética responsável pela formação dos aminoácidos aromáticos (LI *et al.*, 2025). Seu principal metabólito, o ácido aminometilfosfônico (AMPA), apresenta forte similaridade estrutural com a molécula original, o que explica seu comportamento ambiental e biológico semelhante (MENDEZ *et al.*, 2017; RUSLI *et al.*, 2025).

A utilização do glifosato como herbicida iniciou-se na década de 1970 e rapidamente se expandiu, sendo atualmente empregado em mais de 130 países, segundo dados da FAO. Seu uso agrícola continua em crescimento, tanto em área tratada quanto em volume aplicado. Diante desse cenário, o debate sobre o comportamento dessa molécula no ambiente torna-se indispensável. Diversos estudos têm buscado compreender sua dinâmica em diferentes compartimentos ambientais, incluindo organismos, alimentos, solo, água e ar.

Assim, o objetivo deste estudo é revisar e integrar evidências científicas sobre o comportamento do glifosato e de seu metabólito AMPA em meios abióticos (solo, água e ar) e bióticos (plantas, animais e microrganismos), discutindo sua persistência, vias de degradação, mobilidade e potenciais efeitos ecológicos e toxicológicos, bem como sua ocorrência em alimentos.

## DESENVOLVIMENTO

### Glifosato

O glifosato (N-(fosfonometil)glicina) é um herbicida sistêmico de amplo espectro amplamente utilizado no controle de plantas daninhas. É aplicado principalmente por via foliar e translocado dentro da planta, inibindo a enzima 5-enolpiruvilshiquimato-3-fosfato sintase (EPSPS) e, por consequência, a via do shikimato responsável pela biossíntese de aminoácidos aromáticos essenciais. Em razão de sua ampla adoção em culturas diversas, o glifosato tem sido



intensamente estudado quanto às suas propriedades físico-químicas, destino ambiental e potenciais impactos em organismos não-alvo (Tabela 1) (DUKE, 2018; RUSLI *et al.*, 2025).

**Tabela 1.** Propriedades físico-químicas do glifosato.

| Propriedade                    | Valor / Observação                                                                             |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fórmula molecular              | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> NO <sub>5</sub> P                                                |
| Forma comum (sal)              | Sal de isopropilamina                                                                          |
| Solubilidade em água           | 12 g·L <sup>-1</sup> (pode variar conforme formulação)                                         |
| pKa                            | pK <sub>1</sub> = 0,8; pK <sub>2</sub> = 2,16; pK <sub>3</sub> = 5,46; pK <sub>4</sub> = 10,14 |
| Comportamento ácido-base       | Zwitteriônico (múltiplos sítios ionizáveis)                                                    |
| Peso molecular                 | 169,07 g·mol <sup>-1</sup>                                                                     |
| Constante de partição (logP)   | -3,2                                                                                           |
| Pressão de vapor               | 1,3 × 10 <sup>-5</sup> Pa (25 °C)                                                              |
| Coefficiente de adsorção (Koc) | 8.000–24.000 L·kg <sup>-1</sup>                                                                |

**Fonte:** (FAO, 2016; NCBib, 2025)

Sua fórmula molecular C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>NO<sub>5</sub>P e, na forma de sal de isopropilamônio, apresenta adicionalmente o grupo (CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>CHNH<sub>3</sub>. Tanto o glifosato quanto seus sais apresentam natureza cristalina e elevada solubilidade em água, atingindo aproximadamente 12g/L. O glifosato possui quatro valores de pK, sendo eles: pK<sub>1</sub> = 0,8; pK<sub>2</sub> = 2,16; pK<sub>3</sub> = 5,46; pK<sub>4</sub> = 10,14 (JUNIOR *et al.*, 2002). Em razão de apresentar múltiplos sítios ionizáveis, exibindo simultaneamente cargas positivas e negativas, o composto apresenta comportamento zwitteriônico (PRATA *et al.*, 2002).

O glifosato foi originalmente sintetizado em 1964 como um potencial agente quelante industrial, e seu uso como herbicida só foi identificado em 1971. Em plantas, fungos e na maioria das bactérias, a enzima 5-enolpiruvil-shikimato-3-fosfato sintase (EPSPS) é inibida pelo glifosato (YAMADA *et al.*, 2007). Somente organismos geneticamente modificados (OGM) com resistência induzida ao herbicida apresentam seletividade ao glifosato.

Quanto ao seu modo de ação, o herbicida atua por meio da inibição da enzima EPSPs, interrompendo a rota metabólica responsável pela síntese dos aminoácidos aromáticos. Seu uso é amplamente difundido e indicado para o controle de plantas indesejáveis, tanto perenes quanto anuais, incluindo

monocotiledôneas e dicotiledôneas (AMARANTE-JUNIOR *et al.*, 2002). Entre os principais sintomas observados nas plantas expostas ao herbicida destacam-se clorose foliar seguida de necrose; adicionalmente, podem ocorrer enrugamento, malformações e outros sinais de disfunção fisiológica. A morte da planta geralmente ocorre vários dias após a aplicação (YAMADA *et al.*, 2007). O glifosato é uma molécula pequena com três grupos funcionais polares (grupos carboxílico, amino e fosfonato), que podem ser fortemente sorvidos pelos colóides do solo (MENDEZ *et al.*, 2017).

AMPA

O principal metabólito do glifosato é o ácido aminometilfosfônico (AMPA) que constitui o metabólito da degradação do glifosato em sistemas naturais, formando-se antes da mineralização final da molécula original. A degradação do glifosato ocorre primariamente através de dois caminhos metabólicos: um que leva à formação de sarcosina e fosfato inorgânico via ação da enzima C-P liase, e outro envolvendo glicose oxidoredutases que convertem o glifosato em AMPA e glicolato. Ambas as vias ocorrem simultaneamente em condições naturais (NETO, 2009; PRATA *et al.*, 2002)

Tabela 2. Propriedades físico-químicas do AMPA.

| Propriedade          | Valor / Observação                                                                                                      |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nome comum           | Ácido aminometilfosfônico (AMPA)                                                                                        |
| Fórmula molecular    | CH6NO3P                                                                                                                 |
| Peso molecular       | 111,04 g·mol <sup>-1</sup>                                                                                              |
| Estado físico        | Sólido (cristalino)                                                                                                     |
| Solubilidade em água | ~10.500 mg·L <sup>-1</sup> (≈10,5 g·L <sup>-1</sup> ) — alta solubilidade; valores reportados podem variar entre fontes |
| pKa                  | Múltiplos pKa reportados (alta variação entre estudos)                                                                  |
| LogP                 | ≈ -4,7 (baixa lipofilicidade)                                                                                           |
| Pressão de vapor     | Muito baixa (praticamente não volátil)                                                                                  |

Fonte: (FAO, 2016; IUPAC, 2025; NCBIa, 2025)

Devido à estrutura molecular do AMPA, que ainda retém o grupo metilfosfônico presente no glifosato original, este metabólito apresenta características de sorção semelhantes ao herbicida precursor. Esta similaridade estrutural torna o AMPA particularmente persistente no solo, pois sua adsorção aos colóides do solo é igualmente alta. Consequentemente, o AMPA apresenta restrições significativas à mineralização total, mantendo-se imobilizado e indisponível para degradação completa em muitas circunstâncias (SIDOLI; BARAN; ANGULO-JARAMILLO, 2016). Quanto à toxicidade, estudos indicam que o AMPA possui potencial tóxico comparável ou até superior ao glifosato, divergindo da percepção inicial de que seria menos prejudicial. Análises em nível celular revelaram que AMPA induz respostas citotóxicas em concentrações elevadas (acima de 10 mM) em células de cardiomioblastos de rato, causando redução na viabilidade celular e aumento na produção de espécies reativas de oxigênio (ARRIGO *et al.*, 2023) (Tabela 2).

## **Comportamento abiótico**

### **No solo**

O solo é um sistema dinâmico e aberto, formado continuamente no local onde se encontra por meio da interação entre material de origem, relevo, organismos, vegetação e tempo (EMBRAPA, 2013). Por ser a matriz sobre a qual se desenvolvem grande parte das atividades biológicas e agrícolas, o manejo sustentável do solo é condição básica para a manutenção da vida e da produtividade no território (SOBUCKI *et al.*, 2021).

Grande parte dos solos apresenta capacidade de sorver fortemente o glifosato nas primeiras horas após a aplicação, com ligação a óxidos, materiais não cristalinos, silicatos e matéria orgânica (VEIGA *et al.*, 2001). Essa sorção ocorre em duas fases: uma etapa praticamente instantânea e uma fase mais lenta, como de curta duração média ( $\approx 10$  minutos). Mesmo após oxidação da matéria orgânica com peróxido de hidrogênio a 30%, o glifosato permanece fortemente aderido em solos de textura média a argilosa, especialmente em solos predominantemente constituídos por minerais de baixa atividade, como a caulinita (PRATA, 2000). Em suma, embora a matéria orgânica contribua para a

retenção, a fração mineral, notadamente óxidos de ferro e alumínio, desempenha papel preponderante na sorção do composto.

Os microrganismos do solo são agentes-chave na degradação do glifosato, pois podem utilizar tanto o herbicida quanto seus metabólitos como fontes de carbono, nitrogênio ou fósforo (BUSSE, 2000; CASTREJÓN-GODÍNEZ *et al.*, 2021). Após a aplicação, o glifosato é frequentemente metabolizado em AMPA, que também demonstra alta afinidade por partículas do solo. Estudos experimentais apontam que tanto o glifosato quanto o AMPA são intensamente sorvidos pelos colóides do solo e exibem baixa dessorção, parte permanecendo como resíduo ligado, fração associada à matriz biótica ou abiótica não extraível por métodos convencionais (PRATA *et al.*, 2000; PRATA, 2002; PRATA, 2003; FÜHR *et al.*, 1998).

A influência das propriedades edáficas sobre a degradação do glifosato também é evidente em estudos comparativos. Em investigação de 2018, verificou-se correlação entre a mineralização do glifosato e os resíduos extraíveis em NaOH (NaOH-RE), indicando que o tipo de solo condiciona fortemente esse processo (NGUYEN *et al.*, 2018). A mineralização observada variou entre 7% e 70% nos 32 dias seguintes à aplicação, dependendo do solo. Os maiores percentuais de mineralização foram registrados em Fluvisol (Fluvissolo, SiBCS) e Regosol (Neossolo Regolítico, SiBCS), solos com menores taxas de acidez trocável e de acumulação do herbicida. Em contraste, o Gleysol (Gleissolo, SiBCS) apresentou a menor mineralização e a maior fração de glifosato retida como NaOH-RE, sem detecção de AMPA, evidenciando correlação direta entre acidez trocável e imobilização do herbicida.

Além das características físico-químicas do solo, a presença de fósforo pode modular a dinâmica do glifosato por meio de competição por sítios de ligação específicos. Contudo, para que essa competição resulte em dessorção ecologicamente relevante, as concentrações de fósforo precisam ser muito superiores às exigências das plantas, situação pouco comum em sistemas agrícolas bem manejados (PRATA *et al.*, 2003).

A persistência ambiental do glifosato e do AMPA é outro aspecto crítico. A meia-vida desses compostos possuem tempo necessário para que 50% da quantidade inicial seja degradada, e esta varia amplamente na literatura: para o glifosato relatam-se valores entre 2 e 197 dias, e para o AMPA entre 76 e 240

dias (GIESY *et al.*, 2000). Tal variabilidade reflete a dependência do processo de degradação de fatores edáficos, climáticos e microbiológicos, o que dificulta generalizações sobre seu destino ambiental.

Finalmente, o debate sobre o uso intensivo de agrotóxicos na Europa ilustra a relevância prática dessas interações: em um estudo com 317 amostras de camada superficial de solos agrícolas (15–20 cm) coletadas em 11 países e em seis sistemas de cultivo, 21% das amostras continham resíduos de glifosato e 42% continham AMPA, com concentrações máximas detectadas de até 2 mg.kg<sup>-1</sup> (SILVA *et al.*, 2017). Esses achados reforçam a necessidade de integrar avaliações de sorção, degradação microbiana e propriedades do solo para prever o comportamento de glifosato e AMPA nos ambientes edáficos e orientar práticas de manejo com menores riscos ambientais.

## **Na água**

A água é essencial para a vida na Terra, sem ela, o processo evolutivo que originou os organismos atuais, inclusive os seres humanos, não teria sido possível. Tanto os organismos primitivos quanto os atuais dependem profundamente da água, o que torna a preservação das fontes hídricas, como rios, lagos, mares, aquíferos e outros ambientes aquáticos, uma questão central para a manutenção dos ecossistemas e das atividades humanas.

No ambiente aquático, o glifosato tende a se degradar com dificuldade, o que aumenta seu potencial de risco pela exposição prolongada de organismos sensíveis, como algas e corais. A degradação é principalmente mediada por microrganismos aquáticos, que metabolizam o composto inicialmente a AMPA e, em etapas subsequentes, a CO<sub>2</sub> (GIESY *et al.*, 2000). Ainda assim, de modo geral o glifosato apresenta menor persistência na água do que no solo, e suas formulações comerciais são totalmente solúveis em água (PATERSON, 2007).

Estudos de campo mostram que a presença de glifosato em corpos d'água está diretamente associada à intensidade da atividade agrícola. Em uma análise de 52 lagos do Pampa argentino e 24 lagos do norte da Patagônia, resíduos de glifosato e AMPA foram detectados apenas no Pampa, região com uso intensivo de herbicidas; o glifosato apareceu em mais de 40% das amostras, enquanto

na Patagônia, onde o cultivo é restrito por condições climáticas e topográficas, não houve detecção (BERMAN *et al.*, 2018).

Ensaios laboratoriais revelam ampla variação na meia-vida aquática do glifosato, entre 47 e 315 dias, o que aponta para um potencial de persistência considerável e risco de transporte para ecossistemas sensíveis, como recifes de corais (MERCURIO *et al.*, 2014). A taxa de degradação mostra dependência da luminosidade, com degradação mais rápida sob baixa incidência de luz e mais lenta no escuro. A presença consistente do metabólito AMPA em todos os tratamentos reforça o papel de microrganismos marinhos nativos na biodegradação do composto (MERCURIO *et al.*, 2014).

Em amostras de estuários do Mar Báltico foram detectados glifosato em nove de dez locais e AMPA em todos; em diversos pontos as concentrações ultrapassaram o limite europeu de  $100 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$ , chegando a  $4156 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$  (SKEFF *et al.*, 2015). No Brasil, estudos em águas superficiais do arroio Passo Pilão (20 km de Pelotas, RS) registraram glifosato e AMPA em coletas realizadas 30 e 60 dias após aplicação, com concentrações mais elevadas próximas às áreas cultivadas e valores superiores a 100 ppb, embora ainda dentro dos limites legais brasileiros (500 ppb) e norte-americanos (700 ppb) (SILVA *et al.*, 2003).

A forte produção agrícola em países como a Argentina motivou investigações sobre o destino ambiental do glifosato em bacias agrícolas. Em 2012, análise de solos, águas superficiais, partículas suspensas e sedimentos mostrou que o glifosato e o AMPA concentram-se preferencialmente no solo e no material particulado: nos solos os teores variaram de 35 a  $1502 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  para o glifosato e de 299 a  $2256 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  para o AMPA; nas águas superficiais o glifosato foi detectado em 15% das amostras e o AMPA em 12%; em partículas suspensas e sedimentos as frequências de detecção foram muito maiores, confirmando o papel dos sedimentos como reservatório persistente desses compostos (APARICIO *et al.*, 2013).

Esses achados indicam que, embora parte do glifosato permaneça na fase aquosa, uma fração significativa é transportada e retida em partículas e sedimentos, com implicações claras para a avaliação de riscos e o monitoramento ambiental. A compreensão integrada das rotas de transporte, da persistência e da atividade microbiana é, portanto, essencial para orientar práticas de manejo que reduzam impactos sobre ecossistemas aquáticos.

## No ar

Na região semiárida central da Argentina, resíduos de glifosato e AMPA foram detectados na poeira respirável (MENDEZ *et al.*, 2017). Amostras de solo superficial (3 cm) coletadas aleatoriamente em um campo de 25 hectares mostraram que, mesmo 12 meses após a aplicação, ainda havia resíduos disponíveis para suspensão. A poeira respirável apresentou concentrações de glifosato entre 4 e 17 vezes superiores às fontes de emissão (solo granulado e frações agregadas) (MENDEZ *et al.*, 2017). O estudo indica que a poeira fina atua como reservatório e via de transporte dessas moléculas na atmosfera (MENDEZ *et al.*, 2017).

Analisando sedimentos originados por erosão eólica 28 dias após a aplicação, foi observado que o glifosato e AMPA aderem-se preferencialmente em partículas menores de 10 µm (BENTO *et al.*, 2017). Esta dimensão é particularmente crítica, pois tais partículas são classificadas como material particulado fino e são facilmente inaláveis pelo ser humano. A taxa de decomposição destes compostos é significativamente reduzida sob baixa umidade, aumentando o risco de dispersão atmosférica, especialmente em áreas áridas ou durante períodos prolongados de seca (BENTO *et al.*, 2017). De forma geral, dificilmente o glifosato ocorre na atmosfera sem estar adsorvido a partículas sólidas devido à sua baixa pressão de vapor (BATTAGLIN *et al.*, 2005). Consequentemente, é necessária a maior atenção e rigor às condições e práticas de aplicação deste produto, com o objetivo de mitigar a dispersão de aerossóis e partículas contendo o herbicida, protegendo não apenas a saúde ocupacional do produtor, mas também a saúde pública das comunidades vizinhas.

## Glifosato e seus resíduos nos alimentos, nas plantas e nos organismos

### Nos alimentos

No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) divulgou em 2023 os resultados do Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos (PARA), que monitora resíduos em produtos alimentícios comercializados no país. Das 5.863 amostras analisadas, foram identificados 146 casos

com presença de glifosato, equivalente a 0,1126%. A frequência de detecção e a conformidade variaram entre ciclos agrícolas e culturas, com ocorrências esporádicas e, em geral, em níveis baixos.

No ciclo 2017–2018, por exemplo, o glifosato foi detectado em 5,5% das 329 amostras de arroz, sem irregularidades registradas. Entre 350 amostras de manga, 2% continham resíduos e todas foram consideradas irregulares. Na uva, a presença foi de 0,3% entre 319 amostras, também sem irregularidades. No período 2018–2019, observaram-se resíduos em 4,0% das amostras de milho (6 de 149) e em 3,1% das amostras de soja (4 de 129). No trigo, 6,8% das 250 amostras apresentaram glifosato, incluindo um caso irregular. Em 2022, culturas como amendoim, batata, café, abacaxi e feijão apresentaram ausência ou detecções muito esporádicas, enquanto na mandioca 2,65% das 151 amostras foram positivas, todas classificadas como irregulares. O trigo manteve taxas notáveis, com 5,63% de detecções entre 142 amostras, das quais 1,41% foram irregulares. No ciclo de 2023 o arroz registrou 5,45% de amostras positivas entre 220 avaliadas, e culturas como beterraba, cenoura, goiaba, laranja, manga e uva apresentaram ocorrências isoladas; a cenoura merece destaque porque todas as amostras positivas foram consideradas irregulares.

Estudos internacionais mostram padrões variados de presença de glifosato e AMPA em alimentos. Na Suíça, análise de 243 produtos comercializados, incluindo vinho, cerveja, farinhas, óleos, mel e carnes, apontou ampla distribuição de resíduos, com concentrações acima do limite máximo permitido do país em óleo de canola, farinha de trigo, tofu e óleo de soja (Zoller *et al.*, 2017). Em vários alimentos o AMPA superou o glifosato, por exemplo na farinha branca e no óleo de canola, ao passo que em alguns produtos como o vinho tinto o glifosato foi mais prevalente.

Relatórios da FAO e da WHO também sintetizam o comportamento desses resíduos em alimentos e durante o processamento. Em 2016, o resíduo mediano em ensaios supervisionados (RMES) para soja crua foi de 5 mg·kg<sup>-1</sup>, reduzindo para 0,1 mg·kg<sup>-1</sup> no óleo refinado. Cereais como cevada, quinoa, aveia, centeio, triticale, sorgo e trigo apresentaram RMES de 3,7 mg·kg<sup>-1</sup> no estado cru, valores que diminuem após o processamento. Ovos e carne de galinha não mostraram resíduos detectáveis, enquanto produtos de mamíferos terrestres exibiram RMES de 0,05 mg·kg<sup>-1</sup>, provavelmente decorrente da alimentação animal (FAO, 2016).



O mesmo relatório estimou ingestões alimentares diárias de glifosato para dietas simuladas. Exemplos incluem 1,26 µg ao consumir 25,17 g de banana, 5,6 µg ao ingerir 112 g de carne de mamíferos e 45,6 µg com 9,12 g de soja. Simulações de 12 dietas diferentes apontaram ingestões entre 121,8 e 443 µg por pessoa por dia, valores que, segundo o relatório, permanecem dentro dos limites aceitáveis estabelecidos na época (FAO, 2016).

Os dados nacionais e internacionais ressaltam que, embora resíduos de glifosato e AMPA sejam detectáveis em alimentos e possam persistir em certas frações após o processamento, a frequência e os níveis variam amplamente conforme a cultura, as práticas agrícolas e as cadeias de processamento. Esses achados reforçam a necessidade de monitoramento contínuo e de análises que considerem não só a presença nas amostras brutas, mas também os efeitos do processamento, da alimentação animal e das normas regulatórias na avaliação do risco alimentar.

## **Na fauna**

Além de dados sobre resíduos alimentares, o relatório também reuniu resultados de estudos experimentais com animais (FAO, 2016). Em ratos, o glifosato é rapidamente absorvido pelo trato gastrointestinal e eliminado principalmente nas fezes e, em menor proporção, na urina, apresentando meia-vida sistêmica entre 5,9 e 8,3 horas. As maiores concentrações residuais foram registradas nos ossos, rins e fígado. O composto demonstrou baixa toxicidade oral aguda em camundongos, bem como baixa toxicidade dérmica e por inalação em ratos, coelhos e outras espécies. Em coelhos, não foram observadas irritações cutâneas, embora tenham ocorrido irritações oculares moderadas a severas (FAO, 2016).

Estudos de curta duração relataram alterações gastrintestinais, perda de peso corporal, modificações nas glândulas salivares e sinais de hepatotoxicidade (FAO, 2016). Ensaio de 90 dias registraram fezes moles e diarreia em ratos e, em cães, redução do consumo alimentar e do peso corporal. Embora alguns trabalhos tenham sugerido possível associação entre a exposição ao glifosato e o desenvolvimento de linfomas, essa relação não foi confirmada devido à falta de reprodutibilidade dos achados em diferentes estudos (FAO, 2016). O AMPA,

principal metabólito do glifosato, também apresentou baixa toxicidade e não evidenciou potencial genotóxico (FAO, 2016).

Em humanos, foram descritos casos de irritações oculares, cutâneas e gastrointestinais em trabalhadores rurais expostos ao produto (FAO, 2016), além de episódios de intoxicação aguda por ingestão acidental ou intencional, associados a efeitos renais, pulmonares, cardiovasculares e gastrointestinais. Parte desses efeitos pode estar relacionada ao surfactante presente em formulações comerciais (FAO, 2016).

Na Alemanha, um monitoramento realizado entre 2001 e 2015 analisou 399 amostras de urina de adultos com 20 a 29 anos. Dessas, 127 apresentaram glifosato e 160 apresentaram AMPA em concentrações acima do limite de quantificação ( $1 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ), com níveis mais elevados observados em homens (CONRAD *et al.*, 2017). As concentrações variaram ao longo do período, com picos em 2012 e redução após 2013, possivelmente em função de restrições ao uso pré-colheita.

No Brasil, Moura *et al.* (2017) investigaram os efeitos do glifosato no peixe pintado (*Leiarius marmoratus*  $\times$  *Pseudoplatystoma reticulatum*), espécie de importância ecológica e econômica na Amazônia. O herbicida provocou alterações hematológicas, histológicas e metabólicas, indicando toxicidade relevante em ambientes aquáticos. Foram observadas mudanças em parâmetros como glicogênio, glicose, colesterol, lactato e proteínas, entre outros, revelando que o glifosato pode comprometer múltiplos processos fisiológicos e afetar um amplo conjunto de espécies de peixes (MOURA *et al.*, 2017).

Em ratos Wistar, a exposição materna a uma formulação comercial de glifosato durante a gestação e a lactação resultou em alterações comportamentais significativas na prole (GALLEGO *et al.*, 2016). Os filhotes apresentaram abertura precoce do canal auditivo, menor atividade locomotora e aumento dos níveis de ansiedade. Os autores propõem que esses efeitos possam estar associados a alterações em neurotransmissores, como dopamina, serotonina e GABA, embora essa hipótese ainda exija confirmação (GALLEGO *et al.*, 2016).

## Nos microrganismos

Na Argentina, um estudo avaliou o efeito de glifosato sobre *Azospirillum* sp. e as *Pseudomonas* sp., bactérias amplamente utilizadas como promotoras de crescimento vegetal (TRAVAGLIA *et al.*, 2015). Em ensaios in vitro, ambas apresentaram tolerância ao herbicida e foram capazes de utilizar seu carbono como fonte energética, embora concentrações mais elevadas tenham reduzido o crescimento bacteriano (TRAVAGLIA *et al.*, 2015). Em experimentos com milho, as duas espécies transformaram o glifosato em AMPA e sarcosina, além de promoverem aumento da biomassa radicular e aérea, maior área foliar, incremento na síntese de fitohormônios e redução do residual do herbicida nas plantas e no solo (TRAVAGLIA *et al.*, 2015). Esses resultados indicam que o uso de bactérias rizosféricas na biorremediação do glifosato constitui uma estratégia promissora.

Estudos conduzidos no Missouri (EUA) entre 1997 e 2007 registraram aumento expressivo da colonização de raízes por *Fusarium* sp. em soja e milho resistentes ao glifosato após aplicações do herbicida (KREMER; MEANS 2009). Verificou-se que as raízes de culturas resistentes ao glifosato tanto da soja como do milho, que receberam aplicações de glifosato foram significativamente colonizadas por *Fusarium* em comparação à soja e ao milho que não receberam tratamento do herbicida, tanto em cultivares resistentes como suscetíveis (KREMER; MEANS 2009). O glifosato exsudado pelas raízes pode atuar como fonte nutricional para o fungo, favorecendo sua proliferação e reduzindo populações de *Pseudomonas* spp., um efeito indesejável devido ao papel benéfico dessas bactérias na saúde radicular. Além disso, plantas de soja RR apresentaram menor massa de nódulos, mesmo sem aplicação do herbicida, com redução ainda mais acentuada após as pulverizações (KREMER; MEANS, 2009).

Em mamíferos, a exposição subcrônica e crônica ao glifosato promoveu alterações claras na microbiota intestinal de camundongos, reduzindo a diversidade microbiana e modificando grupos importantes, como *Corynebacterium*, *Firmicutes*, *Bacteroidetes* e *Lactobacillus* (AITBALI *et al.*, 2018). Essas mudanças vieram acompanhadas de aumento de comportamentos ansiosos e depressivos, indicando que parte dos efeitos do herbicida pode ocorrer de forma indireta, mediada pelas alterações na própria microbiota (AITBALI *et al.*, 2018).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A literatura científica demonstra que, embora o glifosato seja um dos herbicidas mais investigados mundialmente, ainda existem lacunas importantes, especialmente no que se refere aos seus efeitos ecossistêmicos e às respostas biológicas indiretas. Os resultados obtidos em diferentes regiões e modelos experimentais deixam claro que seu comportamento depende fortemente do contexto, variando conforme o tipo de solo, a atividade microbiana, as práticas de manejo, o genótipo das culturas e as condições ambientais. Essa variabilidade evidencia que as generalizações não são adequadas para compreender a complexidade das interações entre solo, plantas e microrganismos.

Embora apresente baixa toxicidade direta para animais, os impactos mediados por alterações microbianas, tanto no solo quanto no trato gastrointestinal, têm se mostrado relevantes. Essas mudanças podem desencadear efeitos fisiológicos e ecológicos de longo prazo, muitas vezes pouco visíveis, mas determinantes para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas que dependem intensamente de herbicidas. Nesse sentido, os efeitos indiretos constituem um dos principais desafios para avaliar os reais riscos associados ao uso contínuo do glifosato.

Nesse contexto, torna-se essencial que seu uso seja criterioso e tecnicamente embasado. A definição da dose, do momento de aplicação e das condições ambientais deve considerar as múltiplas interações que o composto estabelece no ambiente. Como o período de uso intensivo de herbicidas é relativamente recente na história da agricultura, é pertinente refletir sobre as consequências de sua aplicação contínua. Avanços futuros dependem de estudos integrados e de longo prazo, capazes de detectar mudanças sutis, porém ecologicamente significativas, no funcionamento dos solos agrícolas.

## REFERÊNCIAS

AITBALI, Y *et al.* Glyphosate based- herbicide exposure affects gut microbiota, anxiety and depression-like behaviors in mice. **Neurotoxicology and Teratology**, v.67, p.44–49, 2018.

AMARANTE-JÚNIOR, O.P. *et al.* Glifosato: propriedades, toxicidade, usos e legislação. **Química Nova**, v.25, p.589-593, 2002.

APARICIO V. C., e al. Environmental fate of glyphosate and aminomethylphosphonicacid in surface waters and soil of agricultural basins. **Chemosphere** 93: 1866-1873. 2013.

ARRIGO, E. *et al.* Biological effects of sub-lethal doses of glyphosate and AMPA on cardiac myoblasts. **Frontiers in physiology**, v. 14, p. 1165868, 2023.

BATTAGLIN, W. A. *et al.* Glyphosate, other herbicides, and transformation products in Midwestern streams, 2002. **Journal of the American Water Resources Association**, v.41, n.2, p.323-332, 2005.

BENTO, C.P.M. *et al.* Glyphosate and AMPA distribution in wind-eroded sediment derived from loess soil, **Environmental Pollution**, v. 220, p. 1079-1089, 2017.

BERMAN, M. C. *et al.* Occurrence and levels of glyphosate and AMPA in shallow lakes from the Pampean and Patagonian regions of Argentina, **Chemosphere**, v.200, p.513-522, 2018.

BUSSE M.D. *et al.* Non-target effects of glyphosate on soil microbes. **Proceedings of the California Weed Science Society**, v. 52, 2000.

CAREY, J. Unearthing the origins of agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 120, n. 15, p. e2304407120, 2023.

CASIMERO, M. *et al.* Herbicide use history and weed management in Southeast Asia. *Advances in Weed Science*, v. 40, p. e020220054, 2022.

CASTREJÓN-GODÍNEZ, M. L. *et al.* Glyphosate Pollution Treatment and Microbial Degradation Alternatives, a Review. **Microorganisms**, v. 9, n. 11, 2021.

CONRAD, A., *et al.* Glyphosate in German adults – Time trend (2001 to 2015) of human exposure to a widely used herbicide, **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 220, p. 8-16, 2017.

DUKE, S. O. The history and current status of glyphosate. **Pest Management Science**, v. 74, n. 5, p. 1027-1034, 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). GLYPHOSATE. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/7dd0b142-feae-4cfd-bb23-db48dcc72184/content>. Acesso em: 1 dez. 2025.

FÜHR, F. *et al.* Modification of the definition of bound residues. **Pesticide Bound Residues in Soil**; Wiley-VCH: Berlin, 1998.

GALLEGOS, C. E., *et al.* Exposure to a glyphosate-based herbicide during pregnancy and lactation induces neurobehavioral alterations in rat offspring. **Neurotoxicology**, v. 53, 2016.

GIESY, J. P.; DOBSON, S.; SOLOMON, K. R. Ecotoxicological risk assessment for roundup herbicide. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology**, v.167, n.1, p.35-120, 2000.

KREMER, R.J.; MEANS, N.E. Glyphosate and glyphosate-resistant crop interactions with rhizosphere microorganisms. **European Journal Agronomy**. v. 31, n. 3, p. 153-161, 2009.

IUPAC - Pesticides Properties DataBase. *Report 842*. Disponível em: <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/iupac/Reports/842.htm>. Acesso em: 1 dez. 2025.

LI, B. *et al.* Exploring the potential role of EPSPS mutations for enhanced glyphosate resistance in *Nicotiana tabacum*. *Frontiers in Plant Science*, v. 16, p. 1–11, 2025.

MENDEZ, M., *et al.* Glyphosate and Aminomethylphosphonic acid (AMPA) contents in the respirable dust emitted by an agricultural soil of the central semiarid region of Argentina. *Aeolian Research*, v. 29, p. 23-29, 2017.

MERCURIO, P., *et al.* Glyphosate persistence in seawater. *Marine Pollution Bulletin*, v. 85, n. 2, p. 385-390, 2014.

MOURA, F. R., *et al.* Effects of glyphosate-based herbicide on pintado da Amazônia: Hematology, histological aspects, metabolic parameters and genotoxic potential. *Environmental toxicology and pharmacology*, v. 56, p. 241-248, 2017.

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION (NCBI). *Aminomethyl-phosphonic acid* — *PubChem Compound CID 14017*. Disponível em: [https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Aminomethyl\\_phosphonic-acid](https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Aminomethyl_phosphonic-acid). Acesso em: 1 dez. 2025a.

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION (NCBI). *Glyphosate* — *PubChem Compound CID 3496*. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Glyphosate>. Acesso em: 1 dez. 2025n.

NETO, S. A. Degradação do herbicida glifosato e suas formulações comerciais: uma comparação entre processos eletroquímicos. Universidade de São Paulo, p. 137, 2009.

NGUYEN, N. K., *et al.* Large variation in glyphosate mineralization in 21 different agricultural soils explained by soil properties. *Science of The Total Environment*, v. 613–614, p. 1231–1241, 2018.

PATERSON, M. Glyphosate Analysis of Risks to Endangered and Threatened Salmon and Steelhead. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.168.5829&rep=rep1&type=pdf>, acesso: 13 mar. 2025.

PRATA, F. Comportamento do glifosato no solo e deslocamento miscível de atrazina. Tese de doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 149 p, 2002.

PRATA, F. *et al.* Glyphosate sorption and desorption in soils with different phosphorous levels. *Scientia Agricola*, v. 60, n. 1, p. 175-180, 2003.

PRATA, F., *et al.* Influência da matéria orgânica na sorção e dessorção do glifosato em solos com diferentes atributos mineralógicos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, p.947-951, 2000.

RAMOS, R.F.; ANDRIOLLI, A.I.; BETEMPS, D.L. Agrotóxicos e transgênicos: uma crítica popular. *Revista Extensão em Foco*, n. 17, p. 40-53, 2018.

RUSLI, O. *et al.* Structural complexity of glyphosate and aminomethylphosphonate metal complexes. *Physical chemistry chemical physics*, v. 27, n. 15, p. 7519–7531, abr. 2025.

SHEKHAWAT, K. *et al.* Exploring alternatives for assessing and improving herbicide use in intensive agroecosystems of South Asia: A review. *Advances in Weed Science*, v. 40, n. spe1, p. 1–14, 2022.

SIDOLI, P.; BARAN, N.; ANGULO-JARAMILLO, R. Glyphosate and AMPA adsorption in soils: laboratory experiments and pedotransfer rules. *Environmental science and pollution research international*, v. 23, n. 6, p. 5733–5742, 2016.

SILVA, M.D. da; PERALBA, M.C.R.; MATTOS, M.L.T. Determinação de glifosato e ácido aminometilfosfônico em águas superficiais do Arroio Passo do Pilão. **Pesticidas: Revista Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v.13, p.19-28, 2003.

SILVA, V., *et al.* Distribution of glyphosate and aminomethylphosphonic acid (AMPA) in agricultural topsoils of the European Union. **Science of The Total Environment**, v. 621, p. 1352-1359, 2017.

SKEFF, W., NEUMANN, C., SCHULZ-BULL, D. E. Glyphosate and AMPA in the estuaries of the Baltic Sea method optimization and field study. **Marine Pollution Bulletin**, v. 100, n. 1, p. 577-585, 2015.

SOBUCKI, L., *et al.* Contribution of enzymes to soil quality and the evolution of research in Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, p. 0210109, 2021.

TRAVAGLIA, C., *et al.* Towards sustainable maize production: glyphosate detoxification by *Azospirillum* sp. and *Pseudomonas* sp. **Crop Protection**, v. 77, p. 102-109, 2015.

VEIGA, F., *et al.* Dynamics of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in a forest soil in Galicia, north-west Spain. **The Science of the Total Environment**, v. 271, n.1-3, p.135-144, 2001.

YAMADA, T.; CAMARGO E CASTRO, P.R. Efeito do glifosato nas plantas: Implicações fisiológicas e agronômicas. **Encarte do Informações Agronômicas**. International Plant Nutrition Institute, n. 119., p.32, 2007.

ZOLLER, O., *et al.* Glyphosate residues in Swiss market foods: monitoring and risk evaluation. **Food AdditContam Part B Surveill**, p. 22, 2017.

## **CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO E SUAS IMPLICAÇÕES NO CULTIVO DA PALMA FORRAGEIRA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

**Adailson Pereira de Souza**  
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

**Daniela Batista da Costa**  
Instituto Nacional do Semiárido (INSA)

**Evaldo dos Santos Felix**  
Instituto Nacional do Semiárido (INSA)

**Everton Dias de Negreiros**  
Bio Martins e Alves LTDA

**Erika Socorro Alves Graciano de  
Vasconcelos**  
Instituto Nacional do Semiárido (INSA)

**Antenor Pereira de Araújo Neto**  
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

**Talisson Kauê dos Santos Dantas**  
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

**Lucas Eduardo Pereira Aguiar Diniz**  
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

**Paulo Andrey de Lima Ferreira**  
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

**Jucilene Silva Araujo**  
Instituto Nacional do Semiárido (INSA)



# RESUMO

A acidez do solo constitui um dos principais fatores limitantes à produtividade agrícola em solos tropicais, especialmente no semiárido brasileiro, onde predominam ambientes de baixa fertilidade natural. A correção da acidez por meio da calagem promove a neutralização do alumínio tóxico, eleva o pH do solo, aumenta a saturação por bases e fornece cálcio e magnésio às plantas. No cultivo da palma-forrageira, embora a cultura apresente rusticidade e elevada adaptação às condições edafoclimáticas adversas, a melhoria do ambiente químico do solo reflete-se em maior desenvolvimento radicular, incremento da brotação de cladódios e maior eficiência das adubações minerais. A escolha adequada do corretivo, considerando valor neutralizante, eficiência relativa e PRNT, bem como a definição criteriosa das doses com base na análise de solo, são fundamentais para maximizar os benefícios da calagem. Dessa forma, a calagem deve ser compreendida como prática estrutural no manejo da fertilidade do solo em sistemas de produção com palma-forrageira, contribuindo para a sustentabilidade e a estabilidade produtiva no semiárido.

Palavras-chave: Calcário; Fertilidade do Solo; pH.

## INTRODUÇÃO

A maioria dos solos brasileiros apresenta caráter ácido, condição resultante, sobretudo, da baixa capacidade de troca de cátions (CTC) e da elevada presença de alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ) e manganês ( $\text{Mn}^{2+}$ ) em formas tóxicas. Esses fatores comprometem o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, restringem a absorção de água e nutrientes e reduzem a eficiência do uso de fertilizantes, refletindo-se diretamente na queda da produtividade agrícola (VAN RAIJ, 1991). Em regiões semiáridas, onde predominam solos rasos, pouco tamponados e frequentemente explorados de forma contínua, os efeitos da acidez tendem a ser ainda mais expressivos.

Do ponto de vista químico, considera-se ácido todo solo com pH inferior a 7,0; entretanto, para fins agrícolas, os problemas associados à acidez tornam-se mais relevantes quando o pH se encontra abaixo de 5,5, situação em que, geralmente, observam-se teores elevados de alumínio trocável, baixa saturação por bases e reduzida disponibilidade de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ). Nessas condições, a correção da acidez do solo passa a ser prática indispensável para garantir o adequado crescimento das culturas, o equilíbrio nutricional e a atividade biológica do solo (LOPES & GUILHERME, 2007).

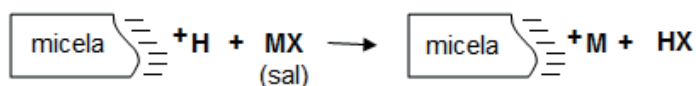
No caso da palma-forrageira (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.), cultura estratégica para a sustentabilidade dos sistemas pecuários do semiárido brasileiro, a acidez do solo assume papel particularmente relevante. Apesar da reconhecida rusticidade e tolerância a ambientes adversos, a palma apresenta respostas produtivas significativas à melhoria das condições químicas do solo, especialmente no que se refere à neutralização do alumínio tóxico, ao aumento da saturação por bases e ao suprimento adequado de Ca e Mg. Solos excessivamente ácidos limitam o desenvolvimento radicular, reduzem a brotação de cladódios e comprometem a longevidade dos palmais, sobretudo em sistemas de colheitas sucessivas e elevada exportação de nutrientes (FONSECA *et al.*, 2020; SILVIANO *et al.*, 2023).

Assim, a correção da acidez do solo deve ser compreendida não apenas como uma prática voltada à elevação do pH, mas como um componente estruturante do manejo da fertilidade em áreas cultivadas com palma-forrageira, contribuindo para a manutenção da produtividade ao longo do tempo, para a

eficiência das adubações minerais e para a sustentabilidade dos sistemas de produção no semiárido (ARAÚJO *et al.*, 2023).

## Princípio da calagem

A calagem tem como base o princípio da troca iônica (capacidade que tem um solo quando em presença de um sal reagir com este e trocar entre si cátions). Assim, a correção de acidez do solo é feita conforme o esquema abaixo.



O sal MX cedeu ao solo cátion (M) e recebeu o H trocável. O ânion X tem que ser de ácido fraco, para forçar a reação.

O material que possui o sal MX é denominado de corretivo da acidez do solo.

No contexto da palma-forrageira, esse princípio assume importância prática direta, uma vez que a neutralização do  $\text{Al}^{3+}$  reduz a toxicidade radicular e cria um ambiente químico mais favorável ao crescimento das raízes, que são fundamentais para a absorção de água e nutrientes em ambientes semiáridos. Além disso, a substituição do  $\text{H}^+$  por  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  contribui para o aumento da saturação por bases (RODRIGHERO *et al.*, 2015), condição associada a maior estabilidade estrutural do solo, maior atividade microbiana e melhor eficiência das adubações, especialmente a fosfatada.

## Qualidade do corretivo

Apesar de muitos materiais terem a capacidade de permutar com o solo seu cátion, para ser considerado como corretivo, o material deverá possuir certos requisitos:

Efetuar a reação

Pode ocorrer que a força com que o solo retém o  $\text{H}^+$  não permite realizar a troca com o cátion do sal. Portanto, o corretivo terá de possuir o poder de efetuar a troca.

Produto da reação

Uma vez efetuada a troca, o corretivo recebendo o  $H^+$  formará um composto que pelo esquema acima é o  $HX$ . A característica deste composto é importante, visto que poderá ser um ácido ou um composto tóxico, e, dependendo do ácido, continuar causando dano às culturas.



Assim, o composto resultante deverá ser um produto inerte ou solúvel, para ser lixiviado com a água.

Embora diversos materiais apresentem capacidade de fornecer cátions básicos ao solo, para que um produto seja considerado um corretivo eficiente da acidez, ele deve atender a requisitos químicos, físicos e agrônômicos específicos. A qualidade do corretivo influencia diretamente a eficiência da calagem, a velocidade de reação no solo e a resposta das culturas, inclusive da palma-forrageira, que apresenta elevada sensibilidade ao suprimento adequado de cálcio e magnésio ao longo de ciclos sucessivos de produção.

O corretivo deve possuir poder neutralizante suficiente para promover a troca dos cátions  $H^+$  e  $Al^{3+}$  adsorvidos no complexo de troca do solo. Em solos com elevada acidez potencial, especialmente aqueles com baixa CTC, comuns no semiárido, corretivos de baixa reatividade podem não ser capazes de promover a neutralização necessária, limitando os ganhos produtivos da cultura da palma, mesmo quando doses aparentemente adequadas são aplicadas.

## Elemento essencial

O corretivo fornece à micela do solo um cátion e este deve ser um elemento essencial para as plantas. Assim, além de efetuar a correção do solo, também estará fornecendo nutrientes às plantas.

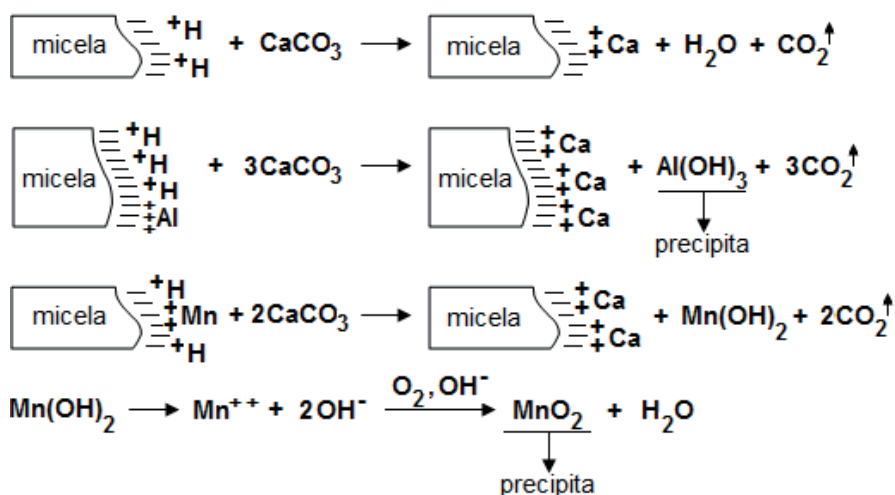
Esquema de corretivo não desejado



O bário não é elemento essencial, por isso estaria somente corrigindo a acidez dos solos. Entretanto, além da correção da acidez, o corretivo deve fornecer nutrientes essenciais às plantas. Nesse contexto, os corretivos à base de cálcio e magnésio assumem papel estratégico no cultivo da palma-forrageira. O cálcio participa da formação da parede celular, da integridade das membranas e da resistência a estresses, enquanto o magnésio é componente central da molécula de clorofila e atua em diversos processos metabólicos. A deficiência desses nutrientes em solos ácidos compromete a brotação, o crescimento dos cladódios e a longevidade dos palmais (SILVIANO *et al.*, 2023).

### Calcário como corretivo

Os corretivos mais usados são os calcários porque satisfazem a maioria dos requisitos exigidos para que tenha boa qualidade. Outro aspecto muito importante diz respeito ao baixo custo, uma vez que os afloramentos de calcários são muitos em nosso país, fazendo com que eles sejam de fácil aquisição. Ressalta-se ainda que o calcário fornece o cálcio e o magnésio, que além de servirem como corretivo servem, também, como fonte de nutrientes para as plantas. Os calcários sendo carbonatos de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e magnésio ( $\text{MgCO}_3$ ), reagem com o hidrogênio, o alumínio e o manganês do solo liberando água e gás carbônico.



Como se vê acima, na primeira reação o cálcio perde o seu ânion acompanhante ( $\text{CO}_2$ ) e em outras reações o cálcio passa a fazer parte do complexo de troca ( $[\text{Ca}]$ ) e o alumínio e o manganês são insolubilizados da forma de hidróxidos e óxidos, respectivamente.

Portanto, os calcários, fornecem cálcio e magnésio em quantidades significativas, desempenhando simultaneamente a função de corretivo e de fonte de nutrientes essenciais para as plantas, além de diminuir a toxidez do solo (CARDOSO *et al.*, 2015), que são particularmente relevantes no cultivo da palma forrageira, onde a neutralização do alumínio favorece o crescimento do sistema radicular, enquanto o aporte de cálcio e magnésio contribui para o aumento da brotação de cladódios, para a melhoria da estrutura dos tecidos vegetais e para maior eficiência na absorção de outros nutrientes, como fósforo e potássio. Estudos conduzidos em condições semiáridas demonstram que a resposta da palma à adubação mineral é potencializada quando o solo apresenta pH adequado e níveis satisfatórios de Ca e Mg, evidenciando a calagem como prática básica no manejo da fertilidade (MENEZES *et al.*, 2005).

Outros materiais podem possuir cálcio, precipitar o alumínio trocável e mesmo assim não funcionam como corretivo ideal, pois não eleva o pH do solo, como exemplo o superfosfato simples. Além dos calcários, um material muito eficiente na correção de acidez do solo são as escórias de siderurgias ou alto forno.

A cal virgem ( $\text{CaO}$ ) e a cal hidratada [ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ], por serem bases fortes, apresentam elevado poder neutralizante da acidez do solo. Do ponto de vista químico, esses materiais são capazes de neutralizar o  $\text{H}^+$  trocável; entretanto, seu uso na agricultura é restrito e pouco recomendado, devido à elevada reatividade, ao risco de elevação abrupta do pH, ao caráter corrosivo e às dificuldades operacionais de aplicação, além do maior custo quando comparados aos calcários agrícolas. Dessa forma, os carbonatos de cálcio e magnésio são preferidos como corretivos da acidez do solo em sistemas agrícolas, incluindo o cultivo da palma-forrageira (VAN RAIJ, 1991; NOVAIS *et al.*, 2007).

O importante do calcário é ser ele formado de ácido fraco e base forte. Deste modo o  $\text{CO}_3^{2-}$  reage com a água originando oxidrilas e estas vão reagir com o  $\text{Al}^{3+}$  precipitando-o. Com o sulfato de cálcio ou cloreto de cálcio esta reação não ocorreria. Contudo, nas culturas agrícolas, especialmente na palma-forrageira, recomenda-se a priorização de calcários agrícolas com PRNT

adequado, dada sua eficiência comprovada, segurança de uso e capacidade de fornecer Ca e Mg em proporções compatíveis com as exigências da cultura.

### Características químicas e físicas dos calcários

A grande variação existente entre os calcários disponíveis faz com que algumas de suas características sejam analisadas e consideradas na avaliação de sua capacidade para corrigir a acidez dos solos.

Os critérios frequentemente adotados nessa avaliação são:

Valor neutralizante (VN) ou Poder neutralizante (PN);

Eficiência relativa (ER), estimada pela análise da granulometria, textura ou tamanho das partículas;

Conteúdo de Ca e Mg.

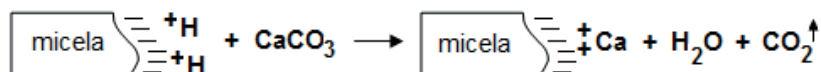
### Valor neutralizante (VN)

Diz respeito à constituição química do calcário, o que define um maior ou menor conteúdo de base. O VN de um corretivo é definido tomando como padrão o  $\text{CaCO}_3$  puro, que tem o VN fixado em 100 %.

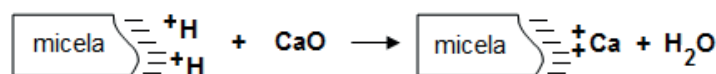
Assim, um corretivo com VN igual a 70 % diz que 100 unidades deste corretivo tem o mesmo conteúdo básico ou mesma capacidade de neutralizante de acidez que 70 unidades de  $\text{CaCO}_3$ .

Verificando os seguintes esquemas de reações:

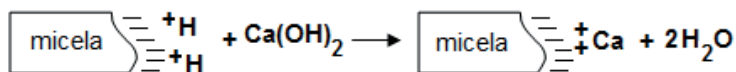
- Carbonatos de Ca ou Mg



- Óxidos de Ca ou Mg



- Hidróxidos de Ca ou Mg



Nota-se que o efeito do carbonato de cálcio e dos óxidos e hidróxidos é o mesmo, ou seja, todos eles neutralizam dois hidrogênios trocáveis. Como o peso equivalente do carbonato de cálcio é 50  $((40+12+42)/2)$ , do óxido de cálcio é 28  $((40+16)/2)$  e do hidróxido de cálcio é 37  $((40+32+2)/2)$  e considerando que o carbonato de cálcio tem um VN padronizado de 100, os demais óxidos terão seus VN acima de 100 %.

A determinação do VN dos corretivos é feita em laboratório, onde os corretivos reagem com HCl. A capacidade que eles têm de neutralizar o HCl é comparada com a do  $\text{CaCO}_3$ , verificando se seu VN é maior ou menor do que o padrão. A estimativa do VN é feita por cálculo.

Ao se fazer uma análise química de um calcário (carbonatos, óxidos ou hidróxidos de Ca e Mg) os resultados são apresentados em % de CaO e de MgO no material. A partir dos valores percentuais encontrados, pode-se chegar ao VN do material analisado. Para isto, deve-se lembrar que 1 (um) equivalente-grama de uma base tem o mesmo valor neutralizante de 1 (um) equivalente-grama de outra base qualquer.

Para uma melhor compreensão, observemos os cálculos:

- CaO

Peso molecular do CaO = 56 (40+16)

Equivalente-grama = 28 (56/2)

Peso molecular do  $\text{CaCO}_3$  = 100 (40+12+48)

Equivalente-grama = 50 (100/2)

Como 1 (um) equivalente-grama de CaO apresenta o mesmo efeito neutralizante que 1 (um) equivalente-grama de  $\text{CaCO}_3$ , pode-se dizer que:

28  $\longrightarrow$  50

100  $\longrightarrow$  VN<sub>CaO</sub>

VN<sub>CaO</sub> =  $(50 \times 100) / 28 = 178,6 \%$ , ou

100 mg de  $\text{CaCO}_3$   $\longrightarrow$  2 mivalente (meq) de  $\text{CaCO}_3$   $\longrightarrow$  100 % de VN

100 mg de CaO  $\longrightarrow$  3,57 meq de CaO  $\longrightarrow$  X % de VN



Logo, o VN do CaO é igual a 178,6 % o que significa que se for aplicado 1 (uma) unidade de CaO ou 1,786 unidades de  $\text{CaCO}_3$  o efeito sobre a correção da acidez do solo será o mesmo.

- MgO

Peso molecular do MgO = 40,3 (24,3+16)

Equivalente-grama = 20,15 (40,3/2)

Peso molecular do  $\text{CaCO}_3$  = 100 (40+12+48)

Equivalente-grama = 50 (100/2)

Como 1 (um) equivalente-grama de MgO apresenta o mesmo efeito neutralizante que 1 (um) equivalente-grama de  $\text{CaCO}_3$ , pode-se dizer que:

20,15  $\longrightarrow$  50

100  $\longrightarrow$  VN<sub>MgO</sub>

VN<sub>MgO</sub> = (50 x 100) / 20,15 = 248,14 %, ou

100 mg de  $\text{CaCO}_3$   $\longrightarrow$  2 milequivalente-grama (meq) de  $\text{CaCO}_3$   $\longrightarrow$  100 % de VN

100 mg de MgO  $\longrightarrow$  4,96 meq de MgO  $\longrightarrow$  X % de VN

A aplicação de 1 (uma) unidade de MgO tem, portanto, o mesmo efeito corretivo da acidez que 2,4814 unidades de  $\text{CaCO}_3$ . Observa-se que há relação inversa entre o peso equivalente do composto e o seu VN.

-  $\text{Ca(OH)}_2$

Peso molecular do  $\text{Ca(OH)}_2$  = 74 (40+32+2)

Equivalente-grama = 37 (74/2)

Peso molecular do  $\text{CaCO}_3$  = 100 (40+12+48)

Equivalente-grama = 50 (100/2)

Como 1 (um) equivalente-grama de  $\text{Ca(OH)}_2$  apresenta o mesmo efeito neutralizante que 1 (um) equivalente-grama de  $\text{CaCO}_3$ , pode-se dizer que:

37  $\longrightarrow$  50

100  $\longrightarrow$  VN <sub>$\text{Ca(OH)}_2$</sub>

VN <sub>$\text{Ca(OH)}_2$</sub>  = (50 x 100) / 37 = 135,135 %, ou

100 mg de  $\text{CaCO}_3$   $\longrightarrow$  2 milequivalente-grama (meq) de  $\text{CaCO}_3$   $\longrightarrow$  100 % de VN

100 mg de  $\text{Ca(OH)}_2$   $\longrightarrow$  2,7 meq de CaO  $\longrightarrow$  X % de VN

Logo, o VN do  $\text{Ca(OH)}_2$  é igual a 135,135 % o que significa que se for aplicado 1 (uma) unidade de  $\text{Ca(OH)}_2$  ou 1,351 unidades de  $\text{CaCO}_3$  o efeito sobre a correção da acidez do solo será o mesmo.

Seguindo esse raciocínio, podemos construir o quadro abaixo.

**Quadro 1** - Valor neutralizante de alguns materiais constituintes do calcário

| Constituintes     | Capacidade de neutralização relativa ao $\text{CaCO}_3$ |
|-------------------|---------------------------------------------------------|
| $\text{CaCO}_3$   | 1,00                                                    |
| $\text{MgCO}_3$   | 1,19                                                    |
| $\text{CaO}$      | 1,786                                                   |
| $\text{MgO}$      | 2,481                                                   |
| $\text{Ca(OH)}_2$ | 1,351                                                   |
| $\text{Mg(OH)}_2$ | 1,72                                                    |
| $\text{CaSiO}_3$  | 0,86                                                    |
| $\text{MgSiO}_3$  | 1,00                                                    |

No manejo da palma-forrageira, a escolha de corretivos com VN adequado é fundamental para assegurar a neutralização efetiva do alumínio trocável e a elevação do pH a níveis compatíveis com o desenvolvimento radicular e a eficiência da adubação. Em solos de baixa capacidade tampão, comuns no semiárido, corretivos com baixo VN podem não promover alterações significativas no ambiente químico do solo, limitando os ganhos produtivos da cultura mesmo após a aplicação de doses aparentemente suficientes.

### **Eficiência relativa (ER)**

A reação de neutralização do calcário (reatividade) se dá por contato entre a superfície de suas partículas e a solução do solo. Como os calcários são de baixa solubilidade, deduz-se que quanto menor suas partículas, o que proporciona maior superfície específica, maior será a área de contato ou de reação. Essa maior área de reação proporcionará uma reação de neutralização mais rápida. Assim, a granulometria (textura), ou seja, o tamanho da partícula está intimamente relacionado com a qualidade do calcário.

A granulometria do material é expressa, em termos práticos, pela sua eficiência relativa (ER). A ER diz respeito à característica física do calcário, dependendo do processo de moagem do material. A separação das partículas

do material moído em diferentes classes de tamanho permite inferir sobre a percentagem de reação do calcário dentro de um período máximo de três meses.

**Quadro 2** – Reação de neutralização dos calcários agrícolas (reatividade) segundo a composição granulométrica

| Tamanho da abertura de malhar (ABNT) |        | Reatividade (ER), % |
|--------------------------------------|--------|---------------------|
| Peneira nº                           | mm     |                     |
| 10                                   | 2,00   | 0                   |
| 20                                   | 0,84   | 20                  |
| 50                                   | 0,30   | 60                  |
| > 50                                 | < 0,30 | 100                 |

**Fonte:** MAPA, 2006.

Segundo o quadro acima, o material de calcário retido nas peneiras ABNT nº 10, 20 e 50 apresentam um percentual de reação de 0, 20 e 60 %, respectivamente, e que todo material que vier a passar pela peneira ABNT nº 50 tem reatividade de 100 %.

Considerando essas duas principais qualidades de um calcário (VN e ER), pode-se calcular a sua real capacidade de neutralização em um período de aproximadamente três meses. Determinamos, portanto, seu Poder Relativo de Neutralização Total ou, como é mais conhecido, o seu PRNT.

$$\text{PRNT} = (\text{VN} \times \text{ER}) / 100$$

Para um melhor entendimento, observemos esse exemplo de cálculo do PRNT de um calcário a partir dos resultados do laboratório.

**Quadro 3** – Resultado da análise química (VN) e granulométrica (ER) de um calcário

| CaCO <sub>3</sub> | CaO   | MgO | Nº da peneira (ABNT) |      |       |
|-------------------|-------|-----|----------------------|------|-------|
|                   |       |     | 10                   | 20   | 50    |
| ----- % -----     |       |     | ----- % -----        |      |       |
| 81                | 45,36 | 2,4 | 0,12                 | 4,39 | 30,89 |

Análises realizadas no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo (DSER/CCA/UFPB).

- Cálculo do valor neutralizante (VN) do CaO

100 % de CaO      ➔      178,6 % de CaCO<sub>3</sub>

45,36 % de CaO    ➔      X % de CaCO<sub>3</sub>

$$XCaCO_3 = (45,36 \times 178,6) / 100 = 81,01 \%, \text{ ou, simplesmente, } 45,36 \times 1,786 = 81,01 \% \text{ de VN}$$

Assim, 45,36 % do CaO contido no calcário, contribui com 81,01 % do seu valor neutralizante total.

- Cálculo do valor neutralizante (VN) do MgO

$$100 \% \text{ de MgO} \longrightarrow 248,14 \% \text{ de CaCO}_3$$

$$2,4 \% \text{ de MgO} \longrightarrow X \% \text{ de CaCO}_3$$

$$XCaCO_3 = (2,4 \times 248,14) / 100 = 5,96 \%, \text{ ou, simplesmente, } 2,4 \times 2,4814 = 5,96 \% \text{ de VN}$$

Assim, 2,4 % do MgO contido no calcário, contribui com 5,96 % do seu valor neutralizante total.

O calcário em questão terá, portanto, o seu valor neutralizante correspondente a soma das contribuições dos óxidos.

$$VN_{\text{calcário}} = 81,01 + 5,96 = 86,97 \%$$

## Cálculo da eficiência relativa (ER)

Considerando os dados do Quadro 2, basta multiplicar os percentuais retidos nas peneiras pelo seu valor de ER correspondente e, ao final, somar a contribuição de cada uma das frações e dividir por 100 para obtermos o valor em percentual. Assim temos:

$$ER_{\text{calcário}} = (0,12 \times 0) + (4,39 \times 20) + (30,89 \times 60) + (64,60 \times 100) / 100 = 84,01 \%,$$

ou simplesmente,

$$ER_{\text{calcário}} = (0,12 \times 0) + (4,39 \times 0,2) + (30,89 \times 0,6) + (64,60 \times 1) = 84,01 \%$$

- Cálculo do poder relativo de neutralização total (PRNT)

Finalmente basta agora obter o produto do valor neutralizante da soma dos óxidos ( $VN_{\text{calcário}}$ ) pela eficiência relativa do calcário ( $ER_{\text{calcário}}$ ) dividido por 100.

$$PRNT = (86,97 \times 84,01) / 100 = 73,06 \%$$

Para a palma-forrageira, a granulometria do calcário assume importância prática relevante, sobretudo em sistemas de sequeiro. A utilização de calcários com ER elevada permite que a correção da acidez ocorra de forma mais rápida, criando condições químicas favoráveis ao crescimento inicial das raízes e à

brotação dos cladódios, especialmente quando a aplicação é realizada pouco antes do período chuvoso.

Conteúdo de Ca e Mg

Um dos fatores limitantes de um solo ácido é, geralmente, o seu conteúdo de Ca e, ou, Mg disponível. Assim, a aplicação de um calcário que contenha Mg terá, aliada ao seu efeito neutralizante da acidez, a adição de Mg, o que evidentemente não acontece quando se utiliza calcário calcítico, pobre em Mg. Segundo as normas técnicas brasileiras, os calcários são classificados em calcítico, magnesiano e dolomítico (Quadro 4).

Quadro 4 – Classificação de calcários de acordo com os seus respectivos teores de

| CaO e MgO           |               |        |
|---------------------|---------------|--------|
| Tipos de calcários  | CaO           | MgO    |
|                     | ----- % ----- |        |
| Calcário calcítico  | 40 a 45       | < 5    |
| Calcário magnesiano | 31 a 40       | 5 a 12 |
| Calcário dolomítico | 25 a 30       | > 12   |

Fonte: MAPA, 2005.

A relação Ca:Mg do corretivo é muitas vezes mais importante do que a quantidade do corretivo. A relação ideal sofre alteração de acordo com o solo e segundo as culturas, sendo algumas espécies mais exigentes em relações estreitas e o utras tolerando o corretivo com mais cálcio do que magnésio. De modo geral, relações Ca:Mg entre 3:1 e 4:1 são consideradas adequadas para a maioria das culturas, embora a resposta possa variar conforme o tipo de solo e o manejo adotado.

No cultivo da palma-forrageira, a relação Ca:Mg do solo e do corretivo merece atenção especial. O cálcio é intensamente exportado pela colheita dos cladódios e desempenha papel estrutural e fisiológico essencial, enquanto o magnésio atua diretamente na fotossíntese e no metabolismo energético da planta. Relações Ca:Mg muito estreitas ou excessivamente amplas podem gerar

desequilíbrios nutricionais, afetando o crescimento e a produtividade da cultura (SILVIANO *et al.*, 2023).

O uso de calcário puramente formado de cálcio, não deve ser descartada, pois, pode-se fazer seu uso como corretivo e complementar a adubação com fertilizantes que contenha magnésio. Algumas vezes o calcário rico em magnésio chega ao agricultor por duas ou mais vezes mais caro do que o calcário calcítico.

A escolha do calcário não pode ficar restrita apenas a disponibilidade na região ou pelo preço do frete, é preciso estar atento às necessidades do solo e da cultura

. É importante que o agricultor tenha em mente que a definição da compra do calcário, se é calcítico ou dolomítico, não pode se restringir apenas a uma questão de preço, mas sim uma questão técnica ligada diretamente à análise do solo e também da análise do calcário.

## **Legislação**

A produção e comercialização dos corretivos de acidez do solo são regulamentadas pela legislação em vigor, que estabelece as especificações, garantias e tolerâncias dos produtos.

Segundo a Instrução Normativa nº 35 de 2006, da Secretaria de Defesa Agropecuária, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2006), os corretivos da acidez deverão apresentar especificações mínimas quanto a sua natureza física e sua capacidade corretiva da acidez do solo.

## **Natureza física**

Neste item a granulometria é o mais importante, devendo apresentar as seguintes características:

- passar 100 % em peneira de 2 mm (ABNT N° 10);
- passar, no mínimo, 70 % em peneira de 0,84 mm (ABNT nº 20);
- passar, no mínimo, 50 % em peneira de 0,3 mm (ABNT nº 50).

Essas exigências visam assegurar adequada eficiência relativa (ER) do corretivo, garantindo que uma fração significativa do material reaja no solo em período compatível com o ciclo das culturas. Para a palma-forrageira, cujo crescimento

inicial e brotação dependem fortemente de condições químicas favoráveis do solo, o uso de corretivos que atendam a essas especificações é determinante para que os benefícios da calagem sejam efetivamente expressos no campo.

Os produtos que não apresentarem essas especificações granulométricas mínimas poderão, ainda assim, ser comercializado como calcário, desde que o mesmo apresente laudo técnico-científico emitido por instituição oficial de pesquisa, comprovando sua eficiência agrônômica na correção da acidez do solo. Contudo, em sistemas produtivos com palma, recomenda-se priorizar corretivos que atendam integralmente aos critérios legais, reduzindo riscos de resposta agrônômica insatisfatória.

Capacidade corretiva da acidez

Além das características físicas mínimas estabelecidas, os corretivos de acidez, de acordo com as suas características próprias, terão, quanto aos valores do poder de neutralização (PN), soma dos óxidos (%CaO + %MgO) e PRNT, as especificações e garantias mínimas constantes no Quadro 4.

**Quadro 4** – Valores mínimos do valor de neutralização (VN), soma dos óxidos (% CaO + % MgO) e PRNT de alguns materiais comercializados como corretivos da acidez do solo

| Material Corretivo da Acidez                | VN            | CaO + MgO | PRNT |
|---------------------------------------------|---------------|-----------|------|
|                                             | ----- % ----- |           |      |
| Calcário agrícola                           | 67            | 38        | 45   |
| Calcário calcinado agrícola                 | 80            | 43        | 54   |
| Cal hidratada agrícola                      | 94            | 50        | 90   |
| Cal virgem agrícola                         | 125           | 68        | 120  |
| Referência para outros corretivos de acidez | 67            | 38        | 45   |

Fonte: MAPA, 2006.

No contexto do cultivo da palma-forrageira, o respeito a esses parâmetros legais é especialmente importante, pois a cultura é frequentemente implantada em solos de baixa fertilidade natural e baixa CTC (ARAUJO *et al.*, 2023), nos quais o uso de materiais de qualidade inferior pode comprometer a correção da acidez e a resposta à adubação mineral. Assim, a escolha de corretivos

devidamente registrados e em conformidade com a legislação vigente constitui etapa fundamental do manejo da calagem.

### **Recomendação de calagem**

Os solos da Paraíba apresentam ampla variação de pH, onde são encontrados solos desde acidez muito elevada ( $\text{pH} < 4,5$ ) até alcalinidade fraca ( $\text{pH}$  entre 7,1 a 7,8), sendo essa amplitude reflexo direto de suas características edafológicas e climáticas.

É fato aceito por todos que a acidez do solo se apresenta como um dos principais responsáveis pelas baixas produtividades da maioria das culturas de interesse comercial, entretanto a preocupação com a correção dos solos ácidos não deve ser entendida apenas como uma prática destinada à elevação do pH, mas como um conjunto de intervenções voltadas à melhoria do ambiente químico do solo, à neutralização do alumínio tóxico, ao aumento da saturação por bases e ao fornecimento adequado de cálcio e magnésio. Esses aspectos são decisivos para o desempenho da palma-forrageira, sobretudo em sistemas de exploração contínua, nos quais a extração de nutrientes pelos cladódios é elevada e a reposição natural é limitada.

Quando se deseja elevar o pH do solo a um valor que traga consigo benefícios a planta, pode-se lançar mão de diferentes métodos para estimar a quantidade do corretivo a ser usado.

Na Paraíba, os laboratórios de análise de solos, quando solicitados, utilizam dois métodos comumente usados em outros estados da federação, são eles: método do Al e Ca + Mg trocáveis; e método da saturação de bases

Geralmente os cálculos são feitos para os dois métodos, adotando-se sempre aquele que apresentar a maior valor.

### **Método de Al e Ca + Mg trocáveis**

Esse método tem no Al o principal fator relacionado à acidez do solo, razão pela qual o teor de Al encontrado no solo é multiplicado por uma constante relacionado a textura do solo que pode variar de um a três (Quadro 5).



**Quadro 5** – Constante (Y) utilizado no cálculo da necessidade de calcário segundo variação da textura do solo

|   | Teor de argila (g kg <sup>-1</sup> ) |           |           |       |
|---|--------------------------------------|-----------|-----------|-------|
|   | < 150                                | 150 a 350 | 351 a 600 | > 600 |
| Y | 1                                    | 2         | 2,5       | 3     |

Ressalta-se, entretanto, que para solos cujo valor de pH estejam acima de 5,4 os teores de alumínio são muito baixos, chegando a zero em valores de pH acima de 5,6.

Uma vez que nossos solos, não raro, apresentam baixos teores de cálcio e magnésio, mesmo nas condições de baixos teores de alumínio, torna-se aceitável acrescentar nos cálculos da correção da acidez um mínimo de 1 cmolc dm<sup>-3</sup> (X), a depender da cultura em questão, no caso da palma-forrageira, essa abordagem é relevante, uma vez que a cultura apresenta elevada demanda por cálcio ao longo dos ciclos produtivos, tornando inadequado um manejo que vise apenas à neutralização do alumínio. Assim temos a fórmula:

$$NC^{NAT} = [Y \times (Al - 0,10 \times T)] + [X - (Ca + Mg)], \text{ onde,}$$

$NC^{NAT}$  = Necessidade de calagem (t ha<sup>-1</sup>);

Y = Constante tabelado segundo a textura do solo;

Al = Teor de alumínio no solo (acidez trocável) (cmolc dm<sup>-3</sup>);

T = CTC a pH 7 = Soma de bases + (H+Al) (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>);

X = Constante tabelado segundo a cultura a ser implantada;

Ca + Mg = Teor de Ca + Mg no solo (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>).

### Método da saturação por bases

Esse método tem por objetivo elevar a saturação por bases (V %) para um valor considerado ideal para a cultura. Assim, torna-se necessário recorrer à literatura para buscar o valor de saturação por bases correspondente a cultura em questão (Quadro 6).

**Quadro 6** – Valor de saturação por bases (V %) do solo considerado ideal para algumas culturas

| Culturas comerciais    | V % |
|------------------------|-----|
| Algodão                | 60  |
| Amendoim               | 70  |
| Cana-de-açúcar         | 60  |
| Feijão                 | 50  |
| Mandioca               | 40  |
| Milho                  | 50  |
| Palma forrageira       | 80  |
| Pastagens (braquiária) | 60  |

Além da saturação por bases (V %) do solo e a desejada, é necessário, também, ter em mãos o valor da CTC do solo (T). Esses valores são encontrados comumente nas análises de solo. Assim, para a estimativa do quantitativo de calcário necessário, temos a fórmula:

$NCSAB = T \times (V2 - V1) / 100$ , onde,  
NCSAB = Necessidade de calcário ( $t\ ha^{-1}$ );  
 $T = CTC\ a\ pH\ 7 = Soma\ de\ bases + (H+Al)$  ( $cmolc\ dm^{-3}$ );  
 $V1$  = Saturação por base do solo, %;  
 $V2$  = Saturação por base do solo desejada, %.

A palma-forrageira exige alto valor de saturação por bases de acordo com o Quadro 6, podendo ser ajustados conforme o tipo de solo, o sistema de manejo e o nível tecnológico adotado. A elevação da V% promove ambiente químico mais equilibrado, favorece o desenvolvimento radicular, aumenta a eficiência da adubação fosfatada e contribui para maior estabilidade produtiva ao longo do tempo.

Esse método é amplamente utilizado em áreas de palma por permitir uma abordagem integrada da fertilidade do solo, considerando não apenas a acidez, mas o equilíbrio entre os cátions básicos, aspecto fundamental em solos de baixa CTC e elevada extração de nutrientes (SILVIANO *et al.*, 2023).

## Dose de calcário a aplicar

Seja qual for o método adotado para a estimativa da dose do calcário a aplicar, alguns pontos devem ser observados antes de se fazer uma recomendação. O primeiro é que a dose de calcário recomendada se baseia na premissa de que o calcário apresenta PRNT igual a 100 (PRNT = 100 %), razão pela qual é necessário fazer a devida correção para a PRNT do calcário que será usado na calagem. O segundo ponto é que os cálculos são feitos considerando uma cobertura uniforme em toda a área (100 %). Dependendo do espaçamento e do arranjo espacial da cultura a área de cobertura da planta/raízes pode não cobrir toda a área. O terceiro ponto é que essa dose está ajustada para uma efetiva reação até 20 cm de profundidade. Assim, para situações em que se coloca a lanço na superfície (reação efetiva até 5 cm de profundidade) ou se incorpora a maiores profundidades (30, 40, 50 cm), deve-se proceder ao devido ajuste.

No caso da palma-forrageira, cuja exploração radicular concentra-se majoritariamente nas camadas superficiais, a incorporação até 20 cm tende a ser suficiente, desde que associada a manejo adequado e reaplicações periódicas conforme o balanço de extração de nutrientes (SANTOS *et al.*, 2022).

Estudos experimentais, incluindo ensaios conduzidos no Agreste paraibano, mostram respostas produtivas claras à calagem: incremento no número de cladódios e na produtividade de matéria fresca e, em muitos casos, melhorias no teor de matéria seca em ciclos subsequentes. Em um ensaio de adubação com N e K conduzido no Instituto Nacional do Semiárido – INSA, na cidade de Campina Grande/PB, região do Agreste paraibano, a adição de 2,6 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico (dose calculada por saturação de bases) resultou em maior brotação (mais cladódios por hectare) e em aumento da produtividade de matéria fresca nos dois primeiros anos de cultivo; a influência sobre massa seca foi mais perceptível a partir do segundo ano, quando a interação entre acúmulo de Ca/Mg e aplicação contínua de fertilizantes realçou a resposta da planta (COSTA *et al.*, 2025). Esses resultados reforçam que a calagem tende a expressar efeitos mais consistentes ao longo do tempo, principalmente quando combinada com adubações de manutenção.

Por último, e não menos importante, é que a dose de calcário a aplicar deve estar perfeitamente alinhada aos resultados obtidos na análise de solo.

Dosagem acima do necessário é tão prejudicial no solo (precipitação do P, Zn, Fe, Cu e Mn) como a acidez elevada. Em áreas cultivadas com palma-forrageira, esses efeitos podem refletir-se em redução da brotação, menor acúmulo de matéria seca e queda da longevidade dos palmais, sobretudo em solos de textura mais leve e baixa capacidade tampão.

Observada essas questões, a quantidade de calcário a aplicar pode ser obtida usando a seguinte fórmula:

$QC = NC \times (AC / 100) \times (PF / 20) \times (100 / PRNT)$ , onde,

QC = Quantidade de calcário a aplicar ( $t\ ha^{-1}$ );

NC = Necessidade de calcário ( $t\ ha^{-1}$ );

PRNT = Poder relativo de neutralização total (%) do calcário a ser utilizado;

AC = Área de cobertura desejada (%);

PF = Profundidade de incorporação (cm).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A correção da acidez do solo não apenas cria condições químicas favoráveis ao crescimento e à produtividade da palma-forrageira, mas também contribui para o uso mais eficiente dos fertilizantes, para a manutenção do equilíbrio nutricional do sistema solo-planta e para a sustentabilidade dos sistemas de produção no semiárido brasileiro.

No manejo da palma-forrageira, a calagem deve ser encarada como prática estrutural e de efeito residual, integrando-se ao planejamento da adubação e ao monitoramento contínuo da fertilidade do solo. A antecipação da aplicação ao período chuvoso, o uso de corretivos de qualidade comprovada e o ajuste técnico das doses, com base na análise de solo, são condições essenciais para maximizar os benefícios da calagem.

A magnitude da resposta da palma à calagem, porém, é condicionada por múltiplos fatores abordados anteriormente, como a textura e CTC do solo, o PRNT e granulometria do calcário, a profundidade de incorporação, a janela sazonal de aplicação (antecipar ao período chuvoso é recomendado para acelerar a reação química) e o manejo de fertilização complementar (particularmente P, N e K). Em solos arenosos de baixa CTC, por exemplo, pequenas quantidades de calcário podem alterar significativamente o pH, mas o efeito pode

ser transitório, exigindo monitoramento e aplicações subsequentes conforme o balanço de extração por colheita. O manual de produção regional recomenda o uso preferencial de calcário dolomítico quando houver necessidade simultânea de Mg, e enfatiza a importância do PRNT  $\geq 80\%$  e do cálculo técnico das doses a partir da análise do solo (método V%, Ca+Mg, ou  $Al^{3+}$ ), evitando aplicações empíricas que possam provocar supercalagem e desequilíbrios iônicos.

Quanto à interação calagem  $\times$  adubação mineral, a literatura e evidências experimentais indicam sinergias importantes. A correção do pH tende a aumentar a eficiência do fósforo aplicado (reduzindo fixação por Al e Fe), e a elevar a efetividade do nitrogênio e do potássio em anos subsequentes. No experimento anteriormente citado conduzido no INSA, enquanto o potássio favoreceu mais a produtividade de matéria fresca, o nitrogênio foi o principal motor do acúmulo de matéria seca — porém a eficiência desses adubos foi claramente modulada pelo tratamento de calagem: em solo corrigido foi necessária maior dose de N para maximizar alguns parâmetros de MS, sugerindo que a disponibilidade aumentada de Ca/Mg modificou a demanda e a dinâmica de assimilação de N e K. Em termos práticos, isso aponta para a necessidade de planejar a calagem como parte integrada do programa de adubação, não como uma operação isolada.

Entretanto, existem limites e riscos: aplicação de calcário sem diagnóstico pode elevar excessivamente o pH, reduzir disponibilidade de micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu) e provocar desequilíbrios Ca:Mg:K; em solos com problemas de sodicidade, por sua vez, a correção por calcário não é indicada — nesses casos o gesso agrícola é mais adequado para restaurar condições físico-químicas. Além disso, em solos muito rasos ou compactados as limitações físicas persistem mesmo após a correção química, exigindo práticas complementares (subsolagem, adubação orgânica, manejo conservacionista). O manual regional alerta ainda para a importância de limitar doses únicas em solos arenosos (por exemplo, não exceder recomendações por aplicação) e de priorizar a aplicação antes das chuvas para que ocorra reação do corretivo.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, J. S. *et al.* Palma Forrageira: Plantio e Manejo. 2. Ed. Campina Grande: INSA, 2023. 65p.
- COSTA, D. B. *et al.* Resposta da palma forrageira a adubação nitrogenada e potássica sob calagem. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, [S. l.], v. 22, n. 12, p. e8485, 2025. Disponível em: <https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/8485>. Acesso em: 2 dez. 2025.
- CARDOSO, A. A. S. *et al.* Influência da acidez e do teor de fósforo do solo no crescimento inicial do mogno. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.35, n.81, p.1–10, 2015. Disponível em: <https://pfb.sede.embrapa.br/pfb/article/view/667>. Acesso em: 02 dez. 2025.
- FONSECA, V.A. *et al.* 'Gigante' cactus pear cultivated at different population densities in a mechanizable arrangement, *Rev. bras. eng. agríc. ambient.* v.24, n.11, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n11p769-775>.
- LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. *In:* Eds. NOVAIS, R.F., ALVAREZ V., V.H., BARROS, N.F., FONTES, R.L.F., CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. SBCS, Viçosa, 2007. 1017p.
- MENEZES, R.S.C. *et al.* **A palma no Nordeste do Brasil, conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. 1. ed. Recife: UFPE, 2005. 258p.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Secretaria de defesa Agropecuária**. Instrução normativa nº 35 de julho de 2006.
- NOVAIS, R. F. *et al.* (Eds.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.
- RODRIGHERO, M.B. *et al.* Aplicação superficial de calcário com diferentes teores de magnésio e granulometrias em sistema plantio direto. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*. v.39, n.6, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/01000683rbcscs20150036>
- VAN RAIJ, B. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres, 1991.
- SANTOS, M.V.F. dos *et al.* (Eds.). **Palma forrageira: potencial e perspectivas**. 2. Ed., Visconde do Rio Branco, MG: Suprema Gráfica, 2022. 304p. il.
- SILVIANO, A. M.; GIONG, V.; CUNHA, T.J.F. Nutrição mineral, calagem e adubação. *In:* Sistema de Produção de Palma-Forrageira para o Estado da Paraíba. Embrapa Semiárido. 2023, p.23-38.

## **PHYSIOLOGICAL QUALITY, VIGOR, AND DORMANCY OF SEEDS: IMPLICATIONS FOR CROP ESTABLISHMENT: A REVIEW STUDY**

**Teonis Batista da Silva**

Universidade Federal do Piauí (UFPI)

**Jenilton Gomes da Cunha**

Universidade Federal do Piauí (UFPI)

**Alysson Lívio Vasconcelos Guedes**

Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

**Djair Alves da Mata**

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

**Flávia Cartaxo Ramalho Vilar**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano (IFSertãoPE)

# RESUMO

A qualidade das sementes constitui um dos pilares fundamentais para o sucesso dos sistemas de produção agrícola, influenciando diretamente o estabelecimento do estande, o desenvolvimento inicial das plantas e o potencial produtivo das culturas. Nesse contexto, o vigor de sementes destaca-se como um atributo essencial, por refletir a capacidade de desempenho sob diferentes condições ambientais, especialmente aquelas consideradas adversas. Este capítulo tem como objetivo revisar os principais conceitos relacionados à qualidade fisiológica das sementes, com ênfase no vigor, nos métodos de avaliação e nos fatores que afetam o desempenho no campo. São abordadas técnicas amplamente utilizadas para o monitoramento do potencial fisiológico, como testes de germinação, vigor e envelhecimento acelerado, bem como os efeitos de condições ambientais e falhas de manejo sobre a viabilidade e o desenvolvimento das plântulas. Adicionalmente, discute-se a dinâmica da dormência de sementes, suas principais classificações e os métodos empregados para sua superação, com destaque para a escarificação química, incluindo o uso do hipoclorito de sódio. A compreensão integrada desses aspectos é fundamental para a tomada de decisões estratégicas na produção, armazenamento e comercialização de sementes, contribuindo para maior eficiência produtiva e sustentabilidade agrícola.

**Palavras-chave:** Produção de Sementes; Testes Fisiológicos; Estabelecimento do Estande; Germinação sob Estresse; Escarificação.



## STRATEGIC IMPORTANCE OF SEED QUALITY

The success of any agricultural production system begins with the choice of its most fundamental and decisive input: the seed. The quality of this material directly influences the productive potential of the crop throughout its entire cycle, from germination to harvest. As highlighted by Marcos-Filho (2015), the use of low-quality seeds significantly compromises crop establishment, negatively affecting yield components, plant biological efficiency, and, consequently, final productivity.

In this context, proper stand establishment is intrinsically related to the physiological quality of seeds. Rapid and uniform germination, initial vigor, seedling health, and uniform plant development are attributes directly influenced by high-quality seeds, in addition to ensuring the physical and genetic purity of the plant material (Carvalho & Nakagawa, 2012). Therefore, seed quality should be understood as a strategic factor in agricultural planning, going beyond a merely operational perspective and assuming a central role in the sustainability and efficiency of production systems.

## SEED VIGOR AS A COMPETITIVE ADVANTAGE

Although often associated with germination, seed vigor represents a broader and more complex concept, encompassing a set of physiological attributes that determine seedling performance after sowing, particularly under adverse environmental conditions. Because it is not a single trait, its evaluation requires the use of different complementary and carefully standardized methodologies in order to accurately estimate the physiological potential of seed lots (Marcos-Filho, 2015).

The main objective of vigor evaluations, as emphasized by Smiderle *et al.* (2021), is to discriminate among seed lots that exhibit similar germination capacity but differ in their ability to tolerate environmental stresses, a condition frequently observed under field conditions.

## IMPACTS ON FIELD PERFORMANCE AND COMMERCIALIZATION

The use of high-vigor seeds provides direct benefits to both producers and the seed production chain. Among the main positive impacts are:

- **Stand uniformity:** greater homogeneity in seedling emergence and synchronization of fruit maturation (Pascuali, 2012; Escobar-Álvarez *et al.*, 2020);
- **Operational efficiency:** reduced need for corrective practices such as replanting and thinning, resulting in lower production costs (Escobar-Álvarez *et al.*, 2020);
- **Logistics and market flexibility:** high-vigor seed lots allow greater flexibility in commercialization, enabling their allocation to regions with more restrictive edaphoclimatic conditions (Peske *et al.*, 2012).

Conversely, the use of low-vigor seeds results in weaker seedlings, compromised early growth, reduced competitive ability, and lower productive potential, negatively affecting final crop yield (Krzyzanowski *et al.*, 2020).

## EVALUATION AND MONITORING OF PHYSIOLOGICAL POTENTIAL

The evaluation of seed physiological quality is essential both for the selection of seed lots intended for sowing and for the definition of appropriate storage strategies (Pereira, 2018). For this purpose, germination and vigor tests are widely employed, often combined with detailed morphological analyses of seedlings, allowing a more comprehensive and accurate interpretation of seed lot performance (Rodrigues *et al.*, 2020).

Among the most commonly used methods, the accelerated aging test stands out. This test subjects seeds to controlled conditions of high temperature and relative humidity, thereby accelerating the deterioration process. According to Marcos-Filho *et al.* (2015), temperatures ranging from 40 to 45 °C most

commonly 41 °C are effective for estimating both the physiological potential and the storage capacity of seed lots.

## FACTORS AFFECTING SEED PERFORMANCE

Seed physiological quality is highly sensitive to environmental conditions during storage and after sowing. When exposed to unfavorable environments, the deterioration process is accelerated, compromising both seed viability and vigor (Reed *et al.*, 2022).

In addition to intrinsic seed characteristics, França-Neto and Krzyzanowski (2018) emphasize that external stresses and management failures such as soil compaction, inadequate sowing depth, pathogen presence, and water extremes directly influence germination and early plant development. These factors may mask the true physiological potential of seeds, making it difficult to accurately interpret field performance.

## SEED DORMANCY DYNAMICS AND OVERCOMING METHODS

Seed dormancy is characterized by the inability of seeds to germinate even when exposed to adequate conditions of water availability, oxygen, and temperature. According to the classification proposed by Baskin and Baskin (2021), seed dormancy can be grouped into five main categories:

- **Physiological dormancy:** related to hormonal balance, especially between abscisic acid (inhibitor) and gibberellins (germination promoters);
- **Morphological dormancy:** resulting from embryo immaturity at the time of seed dispersal;
- **Morphophysiological dormancy:** a combination of underdeveloped embryos and physiological inhibitory mechanisms;
- **Physical dormancy:** caused by seed coat impermeability, which prevents water uptake;
- **Physical dormancy combined with physiological dormancy:** cha-

racterized by the coexistence of physical barriers and internal embryo inhibition mechanisms.

To overcome these dormancy mechanisms, particularly physical dormancy, scarification methods are commonly employed. Chemical scarification promotes partial rupture of the seed coat, facilitating water absorption and the resumption of germination metabolism (Gao *et al.*, 2020). Among the chemical agents used, sodium hypochlorite (NaClO) stands out for its effectiveness, low cost, and wide availability, representing a practical and efficient alternative for seed producers and nursery managers (Maia *et al.*, 2024).

## CONCLUSION

Seed physiological quality, particularly seed vigor, is essential for uniform crop establishment and overall agronomic performance. The adoption of appropriate germination and vigor tests, combined with proper management practices and effective dormancy-breaking strategies, contributes to greater productive efficiency and sustainability of agricultural systems.

## REFERÊNCIAS

Baskin, J. M., & Baskin, C. C. (2021). The great diversity in kinds of seed dormancy: A revision of the Nikolaeva–Baskin classification system for primary seed dormancy. **Seed Science Research**, 31(4), 249–277.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012. 590 p.

ESCOBAR-ÁLVAREZ, J. L.; RAMÍREZ-REYNOSO, O.; SÁNCHEZ-SANTILLÁN, P.; CUELLAR-OLALDE, R.; ROSALES, R.; TEOLINCACÍHUATL, V. L.; E JOSÉ, L. Size, imbibition, and viability of seeds of two creole melon (*Cucumis melo* L.) from the state of 626 Guerrero, Mexico. **Agro Productividad**, v. 13, n. 12, p. 127-133, 2020.

FRANÇA-NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C. **Semente é tecnologia**. O Vigor e o Desempenho das Sementes, Associação Brasileira de Sementes e Mudas, p. 26-30, 2018.

GAO, Y.; ZHU, M.; MA, Q.; LI, S. Dormancy breakage in *Cercis chinensis* seeds. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 100, n. 6, p. 666-673, 2020.

KRZYZANOWSKI, F. C., VIEIRA, R. D., FRANÇA-NETO, J. D. B., & MARCOS-FILHO, J. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 2020.

Maia, W. M. P., Araujo, E. F., Silva, A. V., & Silva, C. M. (2024). Superação da dormência tegumentar em sementes de *Crotalaria spectabilis* e *Crotalaria paulinea*. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, 18(1), e04411.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas** 2 ed. ABRATES, 2015. 659p. (Biblioteca de Embrapa Soja).

PEREIRA, F. E. C. B. **Testes para a avaliação do potencial fisiológico de sementes de panicum maximum cvs. Mombaça, massai e tanzânia**. 2018. 62 p. Tese (Doutorado) - Agronomia (Produção Vegetal) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 2018.

REED, R. C.; BRADFORD, K. J.; KHANDAY, I. Seed germination and vigor: ensuring crop sustainability in a changing climate. **Heredity**, [s.l.], v. 128, n. 6, p. 450-459, 2022.

RODRIGUES, M.; GOMES JUNIOR, F. G.; MARCOS FILHO, J. Vigor-S: System for Automated Analysis of Soybean Seed Vigor. **Journal of Seed Science**, v. 42, p. e202042039, 2020.

SMIDERLE, O. J.; SOUZA, A. G. Do scarification and seed soaking periods promote maximum vigor in seedlings of *Hymenaea courbaril*? **Journal of Seed Science**, v. 43, p. e202143030, 2021.

# **SOBRE OS ORGANIZADORES**

## **Teonis Batista da Silva**

Bacharel em Agronomia pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, *Campus* Petrolina Zona Rural. Especialista em Agronomia pela Faculdade FAVENI, Mestre em Agronomia com ênfase em Horticultura Irrigada pela Universidade do Estado da Bahia (UNEB), *Campus* III, Juazeiro (BA), e atualmente curso Doutorado em Ciências Agrárias pela Universidade Federal do Piauí (UFPI). Atuação e experiência: Minha linha de pesquisa concentra-se em propagação e manejo cultural de plantas, com ampla experiência técnica, científica e acadêmica. Atuo na elaboração de projetos, análises laboratoriais e docência em cursos de nível superior e técnico. Tenho expertise em aulas práticas e teóricas, contribuindo para disciplinas como Anatomia Vegetal, Fisiologia Vegetal, agricultura especial I, Botânica Sistemática e Plantas Medicinais.

**Lattes:** <http://lattes.cnpq.br/9667459552094357>

## **Jenilton Gomes da Cunha**

Graduado em Engenharia Agrônoma pela Universidade Estadual do Piauí (2017), Mestrado em Agronomia/Produção Vegetal pela Universidade Federal do Vale do São Francisco (2019) e Doutorado em Ciências Agrárias pela Universidade Federal do Piauí (2024). Atualmente é bolsista de Pós-doutorado Júnior do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Revisor de periódicos científicos nacionais e internacionais. Desenvolve pesquisas nas áreas de Fisiologia de Plantas Cultivadas com ênfase no desenvolvimento de estratégias para mitigação do estresse abiótico em plantas, Manejo e Tratos Culturais e nutrição mineral de plantas.

**Lattes:** <http://lattes.cnpq.br/2273843380199883>

# ÍNDICE REMISSIVO

## A

**Agricultura:** 10, 20, 21, 22, 44, 66, 72, 73, 90, 91, 94, 95, 108, 110

**Agrotóxico:** 94

**Aptidão Agrícola:** 9, 11

## B

**Balanço Hídrico:** 9, 11, 12, 18, 19, 20, 21

## D

**Diagnose Visual:** 25, 26, 27, 43, 44, 48, 51, 64, 65

## F

**Fertilidade do Solo:** 48, 64, 67

## G

**Gestión Ambiental:** 69, 82, 85, 87, 88

## H

**Herbicida:** 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 103, 106, 107, 110

**Hylocereus Megalanthus:** 70, 71, 84, 85, 87, 90

## M

**Macronutrientes:** 25, 43, 44, 45, 47, 50, 65, 66, 67

**Musa spp:** 9, 10, 22, 23

## P

**pH:** 84

**Plantas Daninhas:** 18, 94, 95, 96

## R

**RENISUS:** 25, 27, 28, 42, 47, 49, 50, 64, 65

## S

**Seed Production:** 115

**Sistemas Productivos:** 69, 70, 71, 76, 77, 80, 82, 86, 88, 90, 91, 92

**Stand Establishment:** 114



científica digital



**VENDA PROIBIDA - ACESSO LIVRE - OPEN ACCESS**



[www.cientificadigital.org](http://www.cientificadigital.org) | [contato@cientificadigital.org](mailto:contato@cientificadigital.org)