

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE

DIRETORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E
CONSERVAÇÃO

**PADRÃO DE ACÚMULO DE ALUMÍNIO E SUA RELAÇÃO COM A
MORFOMETRIA E ACÚMULO DE FÓSFORO EM *Byrsonima basiloba* e
Byrsonima laxiflora EM ESTAÇÕES SECAS E CHUVOSAS**

Discente: Daniel Braga dos Santos Oliveira

Orientador: Dr. Lucas Anjos de Souza

Coorientadoras:

Dra. Maria Andréia Corrêa Mendonça

Dra. Gisele Cristina de Oliveira Menino

RIO VERDE – GO

MAIO– 2024

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE

DIRETORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA E INOVAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E
CONSERVAÇÃO

**PADRÃO DE ACÚMULO DE ALUMÍNIO E SUA RELAÇÃO COM A
MORFOMETRIA E ACÚMULO DE FÓSFORO EM *Byrsonima basiloba* e
Byrsonima laxiflora EM ESTAÇÕES SECAS E CHUVOSAS**

Discente: Daniel Braga dos Santos Oliveira

Orientador: Dr. Lucas Anjos de Souza

Coorientadoras:

Dra. Maria Andréia Corrêa Mendonça

Dra. Gisele Cristina de Oliveira Menino

Dissertação de mestrado
apresentada como parte das
exigências para obtenção do título
de MESTRE EM
BIODIVERSIDADE E
CONSERVAÇÃO, no Programa de
Pós-Graduação em Biodiversidade e
Conservação do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia
Goiano – Campus Rio Verde. Área
de concentração Conservação dos
recursos naturais.

RIO VERDE – GO

MAIO– 2024

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

Oliveira, Daniel Braga dos Santos
048p Padrão de acúmulo de alumínio e sua relação com a
morfometria e acúmulo de fósforo em *Byrsonima*
basiloba e *Byrsonima laxiflora* em estações seca e
chuvosa / Daniel Braga dos Santos Oliveira ;
orientador Lucas Anjos de Souza. -- Rio Verde, 2024.
46 f.

Dissertação(Mestrado em Biodiversidade e
Conservação) -- Instituto Federal Goiano, Campus Rio
Verde, 2024.

1. Biodiversidade. 2. Cerrado. 3. Metal. 4. Malpighiaceae. I.
Souza, Lucas Anjos de, orient. II. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado) | <input type="checkbox"/> Artigo científico |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC (graduação) | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Daniel Braga dos Santos Oliveira

Matrícula:

2022102310840003

Título do trabalho:

PADRÃO DE ACUMULO DE ALUMÍNIO E SUA RELAÇÃO COM A MORFOMETRIA E ACUMULO DE FÓSFORO EM *Byrsonima basiloba* e *Byrsonima laxiflora* EM ESTAÇÕES SECA E CHUVOSA

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 03/10/2024

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

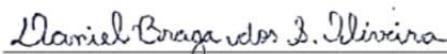
- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde - GO

Local

03/10/2024

Data



Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:


Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 40/2024 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

PADRÃO DE ACÚMULO DE ALUMÍNIO E SUA RELAÇÃO COM A MORFOMETRIA E ACÚMULO DE FÓSFORO EM
Byrsonima basiloba e *Byrsonima laxiflora*
EM ESTAÇÕES SECA E CHUVOSA

Autor: Daniel Braga dos Santos Oliveira
Orientador: Prof. Dr. Lucas Anjos de Souza
Coorientadora: Profa. Dra. Gisele Cristina de Oliveira Menino
Coorientadora: Profa. Dra. Maria Andréia Corrêa Mendonça

TITULAÇÃO: Mestre em Biodiversidade e Conservação - Área de Concentração Conservação dos Recursos Naturais

APROVADA em 27 de maio de 2024.

Profª Dra. Valdnéia Casagrade Dalvi
Avaliador Interno
IF Goiano/Rio Verde

Prof. Dr. Augusto Matias de Oliveira
Avaliador externo
Universidade de Rio Verde

Prof. Dr. Lucas Anjos de Souza
IF Goiano/Rio Verde

Documento assinado eletronicamente por:

- Valdna Casagrande Dalvi, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 28/06/2024 11:05:21.
- Augusto Matias de Oliveira, Augusto Matias de Oliveira - Professor Avaliador de Banca - Fesurv - Universidade de Rio Verde (01815216000178), em 27/06/2024 21:15:23.
- Lucas Anjos de Souza, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 27/06/2024 16:47:49.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 20/05/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 601853
Código de Autenticação: 5d1239f43e



AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, meu agradecimento mais que especial é para Deus, que me abriu uma porta de estudos no momento que mais queria. Se não fosse Jesus, jamais teria conquistado nada. Tudo foi feito para a honra e glória do Senhor.

Agradeço também ao Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Conservação do Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, por ter me proporcionado uma experiência acadêmica enriquecedora e inspiradora. Expresso minha profunda gratidão ao meu orientador Lucas Anjos de Souza cujas orientações foram fundamentais para o sucesso deste trabalho.

Sou imensamente grato aos professores e colaboradores do programa, em especial a Maria Andréia, Valdneá Casagrandi e Gisele Menino, cujo conhecimento e dedicação contribuíram significativamente para o meu crescimento acadêmico e profissional. Quero estender também meus agradecimentos aos meus colegas de laboratório e de turma por toda ajuda e colaboração e troca de ideias que enriqueceram minha experiência de aprendizado nesses dois anos e por terem me suportado nas idas a campo.

Não posso deixar de mencionar o apoio financeiro Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, a Assistência Estudantil e a CAPES, que me ajudou na realização deste estudo e contribuição para o avanço da ciência.

A toda minha família, minha mãe Eldimira Braga (empregada doméstica), meu pai, Otair Lina (pedreiro), meus avós Terezinha Lina e José Miguel (caseiros de fazenda) que me apoiaram nesse tempo todo. Tenho orgulho de cada um, pois eles sem nenhum estudo, conseguiram me formar. Gratidão. A todos os meus amigos que amo muito, João Coelho Neto, Thais Rodrigues dos Santos e Kemilly Lyandra, que sempre estiveram ao meu lado. Aos que me ajudaram nessa caminhada também: Pr. Edson Moura e Pra. Ana Paula, meus pastores, Irmãos da Igreja Casa da Bênção de Piranhas Goiás, aos meus antigos professores da UEG de Iporá Goiás, Jane Dilvana, Flávia Damascena e Ueslene que me apoiaram no ingresso no mestrado, fica aqui minha gratidão.

Ebenézer: Até aqui nos ajudou o Senhor. 1 Samuel 1: 12

BIOGRAFIA DO AUTOR

Daniel Braga dos Santos Oliveira, filho de Eldimira Braga dos Santos e Otair Lina de Oliveira, nascido em Piranhas, GO, em 16 de maio de 1999.

Concluiu o Ensino Médio no Colégio Estadual Maria Eulália de Jesus Portilho em 2017. Iniciou no curso de graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual de Goiás, Unidade Universitária de Iporá em 2018 com conclusão em 2022 e ingressou no Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Conservação no Instituto Federal Goiano, campus Rio Verde, GO no primeiro semestre de 2022 ao findar da graduação.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	19
1.1	Bioma Cerrado E Disponibilidade De Alumínio	19
1.2.	Acúmulo De Alumínio Em Flora Nativa Do Cerrado	21
1.3.	Caracterização Da Família Malpighiaceae E Do Gênero <i>Byrsonima</i>	23
2.	OBJETIVOS	25
2.1.	Geral	25
2.2.	Específicos	25
3.	MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1	Área De Estudo, Espécies E Amostragem	25
3.2	Avaliações Biométricas	26
3.3	Preparo Das Amostras E De Determinação Das Concentrações De Alumínio E Fósforo	27
3.4	Análise De Solo	27
3.5	Análises Estatísticas	29
4.	RESULTADOS	30
4.1	Caracterização Do Acúmulo Sazonal E Distribuição De Alumínio Em <i>Byrsonima</i>	30
4.2	Caracterização Do Acúmulo Sazonal E Distribuição De Fósforo Em <i>Byrsonima</i>	31
4.3	Relações Entre O Acúmulo De Alumínio E Fósforo E Parâmetros Biométricos Em Duas Espécies <i>Byrsonima</i> No Verão	32
4.4	Relações Entre O Acúmulo De Alumínio E Fósforo E Parâmetros Biométricos Em Duas Espécies <i>Byrsonima</i> No Inverno	33
4.5	Relações Entre O Acúmulo De Alumínio E Fósforo E Parâmetros Biométricos Em Duas Espécies De <i>Byrsonima</i> No Verão E Inverno.	34
5.	DISCUSSÃO	39
5.1	Acúmulo E Distribuição De Alumínio Em <i>B. Basiloba</i> E <i>B. Laxiflora</i>	39
5.2	Acúmulo E Distribuição De Fósforo Em <i>B. Basiloba</i> E <i>B. Laxiflora</i>	41
5.3	Relações Entre O Acúmulo De Alumínio E Fósforo E Parâmetros Biométricos Em Duas Espécies <i>Byrsonima</i> No Verão E Inverno	42
5.4	Correlação De Alumínio E Fósforo Com As Variáveis Biométricas No Verão E Inverno	43

6. CONCLUSÕES	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Área de estudo delimitada pela linha amarela, com predominância da fitofisionomia cerrado sentido restrito em Rio Verde/GO, Brasil.

Figura 2 – Concentração de Alumínio (mg kg^{-1} massa seca) em órgãos vegetativos aéreos de distintas espécies de *Byrsonima* durante as estações do ano (Inverno e Verão), em um fragmento de Cerrado sensu stricto localizado em Rio Verde, estado de Goiás, região Centro-Oeste do Brasil.

Figura 3 - Concentração de Fósforo (g kg^{-1} massa seca) em órgãos vegetativos aéreos de distintas espécies de *Byrsonima* durante as estações do ano (Verão e Inverno), em um fragmento de Cerrado sensu stricto localizado em Rio Verde, estado de Goiás, região Centro-Oeste do Brasil.

Figura 4 - Gráfico do primeiro (PC1) e segundo (PC2) componentes principais da distribuição de espécies do gênero *Byrsonima* e respectivos em órgãos vegetativos aéreos e variáveis morfométricas no Verão. **A.** Identificação os vetores que correspondem a cada parâmetro analisado.

Figura 5 - Gráfico do primeiro (PC1) e segundo (PC2) componentes principais da distribuição de espécies do gênero *Byrsonima* e respectivos em órgãos vegetativos aéreos e variáveis morfométricas no Inverno.

Figura 6 - Gráfico do primeiro (PC1) e segundo (PC2) componentes principais da distribuição de espécies do gênero *Byrsonima* e respectivos em órgãos vegetativos aéreos e variáveis morfométricas no Verão e Inverno.

Figura 7 - Análise Exploratória da relação entre as variáveis nas espécies de *Byrsonima* no Verão e Inverno; NFJ (Número de Folha Jovem); NFM (Número de Folhas Maduras); CR (Comprimento do Ramo); DC (Diâmetro do Caule); MFJ (Massa Folha Jovem); MFM (Massa Folha Madura); MR (Massa Ramo); ALC (Alumínio Caule); ALFJ

(Alumínio Folha Jovem); ALFM (Alumínio Folha Madura); PC (Fósforo Caule); PFJ (Fósforo Folha Jovem); e PFM (Fósforo Folha Madura).

ÍNDICE DE TABELA

Tabela 1 – Análises química e textural do solo da área de estudo

RESUMO

O Cerrado apresenta grande diversidade de fauna e flora, muitas endêmicas, tornando-o um dos principais *hotspots* de biodiversidade do mundo. Seu solo, com baixa concentração de nutrientes e alto teor de alumínio (Al), apresenta pH geralmente abaixo de cinco. Algumas espécies do Cerrado são adaptadas a essas condições e conseguem acumular Al em seus tecidos vegetais sem sintomas de toxicidade. O objetivo com esse estudo foi determinar o padrão de acúmulo e distribuição de Al em órgãos vegetativos aéreos e a relação com a morfometria e absorção de fósforo (P) em *Byrsonima basiloba* e *B. laxiflora*. Isso foi feito por meio da determinação da faixa de concentração e o local preferencial de acúmulo de Al e P. Os materiais vegetais de *Byrsonima* foram coletados em Rio Verde Goiás, em duas estações, sendo a primeira coleta de outubro a dezembro de 2022 (estação chuvosa - verão) e a segunda de julho a agosto de 2023 (estação seca - inverno). Análises granulométricas e químicas do solo foram realizadas, coletado em 10 subamostragens em duas profundidades (0-20 e 20-40 cm). Os materiais coletados (caules, folhas maduras e jovens) foram secos, moído e digerido em solução de HCl 1N. Após a digestão do material foi quantificado os teores de Al e P por espectrofotometria, utilizando os métodos calorimétrico com eriocromo cianina R (para Al) e espectrofotométrico com azul-de-molibdênio (para P). As espécies de *B. basiloba* e *B. laxiflora* podem ser categorizadas em dois grupos ecofisiologicamente distintos com base nas concentrações de Al e P em seus caules, e folhas maduras e jovens. Não houve correlação entre as concentrações desses elementos em nenhuma das espécies. No verão, *B. basiloba* exibe maiores concentrações de Al e P do que *B. laxiflora* em todas as partes da planta. No inverno, as concentrações de Al em caules, folhas maduras e jovens são semelhantes entre as duas espécies, enquanto as concentrações de P em caules não diferem, mas em folhas maduras e jovens, *B. laxiflora* apresenta concentrações mais altas.

Palavras- Chave: Biodiversidade, Cerrado, Metal, Malpighiaceae.

ABSTRACT

PATTERN OF ALUMINUM ACCUMULATION AND ITS RELATIONSHIP WITH MORPHOMETRY AND PHOSPHORUS ACCUMULATION IN *Byrsonima basiloba* AND *Byrsonima laxiflora* IN DRY AND RAINY SEASONS

The Cerrado hosts a remarkable diversity of fauna and flora, with many endemic species, turning it one of the world's primary biodiversity hotspots. Its soil, characterized by low nutrient levels and high aluminum (Al) content, typically has a pH below five. Some Cerrado species are adapted to these conditions and can accumulate Al in their tissues without showing toxicity symptoms. The objective of this study was to determine the pattern of Al accumulation and distribution in aerial vegetative organs and examine its relationship with morphometry and phosphorus (P) uptake in *Byrsonima basiloba* and *B. laxiflora*. This was evaluated by determining the Al and P concentration range and preferential accumulation sites. *Byrsonima* plant materials were collected in Rio Verde, Goiás, across two seasons: from October to December 2022 (rainy season - summer) and from July to August 2023 (dry season - winter). Soil granulometric and chemical analyses were conducted, with samples taken from 10 subsamples at two depths (0-20 and 20-40 cm). The collected plant materials (stems, mature leaves, and young leaves) were dried, ground, and digested in a 1N HCl solution. Following digestion, Al and P levels were quantified by spectrophotometry, using a colorimetric method with eriochrome cyanine R (for Al) and a spectrophotometric method with molybdenum blue (for P). The species *B. basiloba* and *B. laxiflora* can be categorized into two eco physiologically distinct groups based on Al and P concentrations in their stems, and mature and young leaves. No correlation was found between these elements' concentrations in either species. In the summer, *B. basiloba* exhibited higher Al and P concentrations than *B. laxiflora* in all plant parts. In the winter, Al concentrations in stems, mature leaves, and young leaves were similar between the two species; however, while P concentrations in stems did not differ, *B. laxiflora* had higher P concentrations in mature and young leaves.

Keywords: Biodiversity, Cerrado, Metal, Malpighiaceae.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Bioma cerrado e disponibilidade de alumínio

O Cerrado é considerado o segundo maior bioma brasileiro (Schwaida *et al.*, 2023), apresentando ampla diversidade de espécies animais e vegetais, com elevado endemismo e isso faz que seja considerado um do “*hotspots*” mundiais de biodiversidade como também um supridor vital de serviços ecossistêmicos (Colli *et al.* 2020; Strassburg *et al.* 2017). Comparado com outras savanas, o cerrado possui a maior diversidade de espécies, representando imensurável patrimônio de recursos biológicos (Pereira; Pasquaeto, 2011). Uma das características marcantes do cerrado é que a vegetação cresce sobre solos ácidos, distróficos, pobres em nutrientes e com altas concentrações de alumínio (Al^{3+}) (Haridasan 2008; Miatto; Wright; Batalha 2016).

O Alumínio (Al) é considerado um dos constituintes mais comuns do ambiente, sendo o elemento metálico mais abundante da crosta terrestre, compreendendo de 7 a 8% da crosta terrestre, seguido pelo oxigênio (O_2) e silício (Si) (Ma *et al.* 2001; Brunner; Sperisen, 2013; Sade *et al.* 2016; Singh *et al.*, 2017). Geralmente, esse elemento não está disponível livremente nos solos, mas ocorrendo em formas insolúveis como óxidos de Al e silicatos (Kochian *et al.* 2015). O Al (H_2O)₆³⁺, também conhecido como Al^{3+} (hexaidrato octaédrico de alumínio), é solúvel em solos que apresentam pH inferior a 5,0 (Kochian 2005), e isso é um fator limitante na produtividade agrícola mundial (Moustakas *et al.* 1993; Ma *et al.* 2001; Kochian *et al.* 2005; Zhao *et al.*, 2014; Kochian, 2015).

Existem várias formas iônicas de Al que são formadas em solos com pH levemente ácido, como $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$, $\text{Al}(\text{OH})_2^+$, $\text{Al}(\text{OH})_3^0$ e $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ (Wright, 1989; Brunner; Sperisen, 2013). Assim, solos ácidos com pH igual ou inferior a 5,0 podem apresentar problemas relacionados à toxicidade de Al (Echart; Cavalli-Molina, 2001). A solubilização do Al^{3+} em sua forma mais fitotóxica normalmente está associada a acidificação do solo resultante de fatores naturais ou fatores antropogênicos (Bojórquez-Quintal *et al.* 2017).

Em geral, pela grande abundância nos solos do Cerrado, o Al^{3+} pode também inibir indiretamente a absorção de Cálcio (Ca), e até mesmo o Fósforo (P) do solo. Assim, espécies de diferentes famílias podem ser tolerantes a esse elemento,

conseguindo sobreviver nesse ambiente com elevadas concentrações de Al^{3+} (Furley; Raatter, 1998; Mossor-Pietraszewska, 2001).

No solo, o Al^{3+} é prejudicial as plantas, por afetar processos celulares e fisiológicos que podem prejudicar o crescimento e desenvolvimento vegetal (Kochian *et al.*, 2005). Uma das principais características observadas em plantas com sintomas de toxicidade do Al é a inibição do crescimento radicular, resultante da interação do Al com as células das raízes (Clymo, 1962; Munns, 1965; Clarkson, 1965; Camargo *et al.*, 1998; Čiamprová 2002; Wang *et al.*, 2004; Alvarez *et al.*, 2012; Grevenstuk; Romano, 2013; Alcântara *et al.*, 2015; Singh *et al.*, 2017). Outros sintomas como a diminuição na abertura estomática e atividade fotossintética, clorose e necrose foliar também são comuns (Gupta *et al.*, 2013). A toxicidade por Al ainda pode desencadear deficiência nutricional de P, Ca, magnésio (Mg), potássio (K), ferro (Fe) e nitrogênio (N) devido a ação do Al^{3+} no processo de absorção e transporte desses nutrientes (Freitas *et al.*, 2006),

A resposta das plantas a toxicidade do Al varia de acordo com a espécie, estado fisiológico das plantas, tipo de solo, valor do pH, concentração, estrutura e aeração do solo e o clima, pois existem diferentes mecanismos de tolerância (Kochian, 1995; Gomes, 2001; Silva, 2007; Mendonça *et al.*, 2020), incluindo os mecanismos de exclusão e o de tolerância. O mecanismo de exclusão (ou evitação/exsudação) ocorre quando o Al^{3+} é imobilizado na parede celular e até mesmo na membrana plasmática. Isso ocorre pela exsudação de quelantes que complexam o Al^{3+} , impedindo-o de entrar no sistema radicular. O mecanismo de tolerância é interno, na qual o Al^{3+} é complexado no citoplasma e compartimentalizado no vacúolo, ou seja, ao penetrar a célula, o Al^{3+} é inertizado e armazenado nos vacúolos de vários órgãos em que é armazenado em uma forma inativa (Foy, 1988; Kochian, 2015). Descobertas têm demonstrado que o Al pode ser compartimentalizado nos cloroplastos, reduzindo pigmentos fotossintéticos, trocas gasosas e CO_2 sem nenhuma ocorrência de danos à organela (Andrade *et al.*, 2011).

Assim, a tolerância das espécies é caracterizada de acordo com a capacidade em absorver, translocar e acumular o(s) metais nas plantas, sendo consideradas como acumuladoras, indicadoras ou exclusoras (exsudação) segundo a presença do metal nas raízes e folhas (Marques; Moreira; Siqueira, 2000; Kochian *et al.*, 2015).

1.2. Acúmulo De Alumínio Em Flora Nativa Do Cerrado

No Cerrado, a maioria das espécies caracterizadas como plantas acumuladoras de Al^{3+} são arbustos e árvores da família Melastomataceae, Rubiaceae, Symplocaceae e Vochysiaceae, apresentando concentração que varia de 4310 a 14120 $mg\ kg^{-1}$ (Haridasan 1982;). As concentrações de nutrientes essenciais como K, Na, Ca, Mg, Zn e P não são baixas nas espécies acumuladoras de Al quando comparada as não acumuladoras. Assim, as espécies acumuladoras superam os efeitos deletérios do Al^{3+} na absorção desses elementos em folhas, apresentando correlação positiva com Ca, Mg e Zn (Haridasan 1986; Teixeira, 2013).

Ainda que muitas espécies sejam sensíveis a altas concentrações de Al^{3+} , outras espécies são consideradas tolerantes a esse metal (Andrade *et al.*, 2011), como *Fagopyrum esculentum* Moench (Polygonaceae) [$< 1500\ mg\ kg^{-1}$], *Camellia sinensis* (L.) [$> 30.000\ mg\ kg^{-1}$], *Hydrangea macrophylla* L. (Hydrangeaceae) [$> 3000\ mg\ kg^{-1}$]. Essas espécies podem crescer em solos com alta concentração de Al^{3+} , que por sua vez irá acumular nos tecidos, sem apresentar sintomas de toxicidade (Ma *et al.*, 2001; Watanabe; Osaki, 2002).

Muitas outras espécies nativas do Cerrado estão adaptadas às condições de acidez do solo, acumulando Al^{3+} em grandes quantidades em seus tecidos, podendo destacar: *Qualea grandiflora* Mart. (5160 $mg\ kg^{-1}$), *Vochysia thyrsoidea* Pohl (Vochysiaceae) [14120 $mg.kg^{-1}$], *Palicourea rigida* H.B.K. (Rubiaceae) [9910 $mg\ kg^{-1}$] e *Miconia albicans* (Sw.) Triana (Melastomataceae) [6900 $mg\ kg^{-1}$] (Haridasan, 1982; Haridasan, 1988; Haridasan, 2008; Souza *et al.*, 2017; Nogueira *et al.*, 2019).

Estudo recente mostrou que espécies do Cerrado como *Vochysia tucanorum* e *Qualea grandiflora* apresentam alta concentração de Al^{3+} nas folhas e raízes ($> 1000\ mg\ kg^{-1}$), sendo então consideradas acumuladoras de Al^{3+} . Em contrapartida, *Caryocar brasiliense* e *Xylopia aromática* apresentam baixas concentrações nas folhas ($\cong 100\ mg.kg^{-1}$) e acumulam entre 50 e 250 $mg\ kg^{-1}$ nas raízes, sendo caracterizadas como não acumuladoras (Zaia *et al.*, 2022).

Estudo com *M. albicans* (Sw.) Triana (Melastomataceae) revelou que o Al^{3+} pode ser acumulado em diferentes órgãos e tecidos como raiz, casca e na madeira, não se restringindo somente as folhas e até mesmo na raiz, embora em folhas senescentes e raízes a concentração de Al^{3+} seja alta (7628 $mg.kg^{-1}$ e 4159 $mg.kg^{-1}$). A espécie não apresentou

sintomas de toxicidade por Al, sendo está uma confirmação da estratégia das plantas do Cerrado a fim de lidar com alta concentração de Al^{3+} em solos ácidos, eliminando através das folhas senescentes e casca (Timpone; Habermann 2022).

Espécies acumuladoras de Al^{3+} podem acumular até 23.000 mg de Al/kg de massa seca (folhas). As plantas que apresentam concentração de Al^{3+} superiores a 1000 mg kg^{-1} de massa seca em folhas são classificadas como acumuladoras, enquanto em espécies hiperacumuladoras o conteúdo de Al deve ser superior a 3000 mg de Al kg^{-1} de massa seca (Chenery, 1948; Jansen *et al.*, 2002). No cerrado, as espécies acumuladoras podem apresentar concentrações de Al^{3+} variando de 4000 a 20.000 mg kg^{-1} de massa seca, sendo classificadas como hiperacumuladoras, como: *Miconia ferruoinata* (DC.) Cogn., *Palicourea rioida* H.B.K., *V. thyrsoides* Pohl (Haridasan, 1982; Haridasan; Araújo, 1988).

É importante destacar que a flora do Cerrado é adaptada a solos ácidos, pobres em nutrientes e com alta concentração de Al^{3+} (Haridasan, 2000), e faz com que o Al^{3+} não seja considerado tóxico para essas espécies. O fato de as espécies acumuladoras e não acumuladoras existirem no mesmo ambiente, evidencia a riqueza dos mecanismos que foram desenvolvidos por essas espécies (Bressan, 2018). Isso mostra que as características adaptativas em plantas nativas cultivadas neste ambiente em condições complexas precisam ser estudadas, tendo em vista que não se sabe qual o papel do Al no metabolismo das plantas do Cerrado (Haridasan, 2006), diferindo do que se sabe sobre as plantas que são cultivadas. Contudo, mesmo não compreendendo de forma específica o seu papel no metabolismo das plantas, sabe-se que para uma espécie acumuladora, a *Camellia sinensis* L. Kuntze, o Al é um elemento essencial para o crescimento da raiz (Sun *et al.*, 2020).

Os possíveis mecanismos de resistência dessas espécies podem incluir mecanismo de tolerância ao alumínio, que inclui mecanismos como a exsudação de compostos orgânicos (como ácidos cítrico e málico) pelas raízes. Os compostos podem se ligar ao Al, diminuindo a toxicidade (Kochian *et al.*, 2004) o mecanismo de desintoxicação, em que as plantas podem sequestrar o Al em vacúolos ou ligá-lo a compostos na parede celular. Isso ajuda a reduzir a toxicidade do Al no citoplasma (Kochian *et al.*, 2015).

1.3. Caracterização Da Família Malpighiaceae E Do Gênero *Byrsonima*

A família Malpighiaceae compreende a cerca de 1.250 espécies em 68 gêneros (Balestra, 2013). Essa família pode ser encontrada em variedade de habitats, seja em habitats abertos (bosques) até áreas densas e savanas esparsas (incluindo o Cerrado), como também nas margens de rios e florestas (Anderson, 1979). No Brasil, em geral, encontram-se distribuídas nas regiões tropicais e subtropicais (Jeffrey, 1981). Sabe-se que as flores das Malpighiaceae são semelhantes. Isso faz com que as características como a forma, comprimento, largura, pilosidade das folhas e dos frutos sejam normalmente utilizados para diferenciar as espécies na grande diversidade de gêneros desta família (Anderson, 1979; Davis *et al.*, 2001).

As espécies pertencentes à família Malpighiaceae geralmente são caracterizadas por apresentarem folhas simples, pecioladas ou sésseis e opostas (Judd, 2009). Os frutos são caracterizados por serem indeiscentes, secos ou carnosos e frutos secos deiscentes, que podem ser alados ou não, glabros ou pilosos (Anderson, 1990).

Dentre os vários gêneros da família Malpighiaceae, o gênero *Byrsonima* é o maior da família, com 150 espécies (Judd *et al.*, 2009). *Byrsonima* sp (murici, murici-assú, murici-cascudo, murici-da-praia, murici-do-campo) é caracterizado por possuir uma estrutura frágil, troncos tortuosos, considerada uma árvore de pequeno porte, crescendo até cinco metros de altura, com frutos amarelados, amplamente distribuída pelo país, sendo uma espécie nativa do Cerrado, e apresenta grande distribuição em todo território brasileiro (Balestra, 2013; Belisário; Coneglian, 2013; Higuchi, 2007). As folhas das espécies de *Byrsonima* podem ser glabras ou pilosas (Higuchi, 2007). Uma outra característica desse gênero é que apresentam indivíduo com hábitos arbustivos ou arbóreos (Lorenzi, 2002).

Byrsonima basiloba A. Juss. conhecido como murici, murici do campo, possui altura de 6-10 m, com tronco cilíndrico de 30-40cm de diâmetro. Suas folhas são simples com filotaxia oposta cruzada, coriáceas, glabras na face superior. É considerada uma planta decídua, heliófita, com ocorrência em terrenos altos no Cerrado. A floração ocorre quase o ano inteiro com mais predominância entre janeiro e março (verão). Os frutos são formados durante todo ano, com mais intensidade a partir de abril e junho (Lorenzi, 2008). As flores são amarelas, bissexuais, pentâmeras, dialipétalas, apresentando nectários extraflorais, dispostas em ráceros terminais curtos (Silva *et al.*, 2016).

Byrsonima laxiflora Griseb (Murici-da-mata) é uma espécie endêmica do Brasil, e a distribuição geográfica ocorre nas regiões Norte, Nordeste, Sudeste e no Centro Oeste. Essa espécie apresenta altura de até 10 m (árvore ou arvoreta), com folhas coriáceas, com face adaxial glabra, face abaxial esparsamente serícea ou glabrescente. Suas pétalas são amarelas e apresentam inflorescência do tipo cincino(s) unifloro que contém uma flor na extremidade do pedúnculo ou do eixo (Francener, 2023).

Uma série de estudos investigam sobre a questão das plantas acumuladoras e não acumuladoras de Al, como destacado por uma série de autores, incluindo Haridasan e Araújo (1988), Haridasan (2008), Neri *et al.*, (2012), Souza *et al.*, (2017), Bressan (2018), Nogueira *et al.*, (2019) e Zaia *et al.*, (2022). Entretanto, é notório que essas pesquisas frequentemente não abordam a família Malpighiaceae, com exceção do trabalho de Haridasan (1982), que incluiu esse grupo em sua análise e concluiu que suas espécies não acumulam Al. Apesar da importância da família Malpighiaceae no contexto do Cerrado, especialmente as espécies de *Byrsonima* sp, a escassez de estudos específicos sobre o padrão de acúmulo de Al nessas plantas é reconhecida. Esta lacuna é significativa, considerando a relevância da família e as características do bioma Cerrado, como demonstrado por Ribeiro, Fonseca e Silva (2001) e Conceição, Ruggieri e Rodrigues (2011). Assim, há necessidade de investigações adicionais para preencher essa lacuna de conhecimento, fornecendo uma compreensão mais abrangente sobre o padrão acúmulo de alumínio nessas espécies e suas implicações para biodiversidade do bioma Cerrado. Considerando que diversas plantas acumulam em seus órgãos e tecidos quantidades consideráveis de Al (Jansen *et al.*, 2002), é essencial estudos de plantas nativas do Cerrado (Haridasan 2008; Brunner; Sperisen 2013), a fim de identificar quais espécies e o padrão de acúmulo, uma vez que é um bioma que apresenta altas concentrações de Al⁺³ e, assim, ampliar o conhecimento sobre as espécies do cerrado acumuladoras ou não de Al³⁺.

Como a acidez do solo geralmente leva a deficiências de alguns nutrientes (Freitas *et al.*, 2006), as interações do Al com outros fatores por exemplo com um dos macronutrientes o P são necessárias de serem avaliadas, que por sua vez são importantes em função da toxicidade do Al para as plantas em condições de campo, sendo que as pesquisas e análises sobre o crescimento das plantas em solos ácidos deram pouca atenção

à deficiência de P (Zhao *et al.*, 2014), principalmente em plantas nativas do Cerrado, que crescem em solos extremamente ácido e com alta concentração de Al^{3+} .

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Determinar o padrão de acúmulo e distribuição de Al em órgãos vegetativos aéreos de *B. basiloba* e *B. laxiflora*.

2.2. Específicos

- Determinar a faixa de concentração de Al em folhas (jovens e maduras) e caules.
- Determinar o órgão vegetativo preferencial de acúmulo de Al;
- Relacionar o teor de Al em diferentes profundidades de solo com a quantidade de alumínio nos caules e folhas;
- Relacionar o padrão de acúmulo de Al o teor de P e caracteres morfológicos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área De Estudo, Espécies E Amostragem

O estudo foi realizado no município de Rio Verde, Goiás, em um fragmento de Cerrado sentido restrito. A área, com 423.322,66 m², pertence a Universidade de Rio Verde (UniRV), localizada nas coordenadas geográficas 17°47'18''S e 50° 57' 52''W, a altitude de 782 m (Figura 1). O clima da região é tropical úmido (IBGE, 2007), com estações bem definidas, uma de seca (maio a setembro) e outra chuvosa (outubro a abril).

A seleção das espécies ocorreu com base na abundância de indivíduos, e foram selecionadas as espécies *Byrsonima basiloba* A. Juss. e *Byrsonima laxiflora* Griseb. Duas coletas foram realizadas, sendo amostrados 19 indivíduos de cada espécie. A primeira coleta foi realizada no período de outubro a dezembro de 2022 (estação chuvosa - verão) e a segunda, no período de julho a agosto de 2023 (estação seca - inverno). A identificação das espécies foi realizada em campo com auxílio do manual “100 árvores do Cerrado–sentido restrito: guia de campo” (Silva Júnior, 2012).

Os ramos vegetativos contendo caule e folhas (jovens e maduras) foram amostrados. Para fins de classificação das folhas jovens e maduras utilizou-se o critério de tamanho da folha, coloração e grau de lignificação do ramo principal. As características dessas folhas seguem a descrição: folhas jovens - comprimento menor que folhas maduras, coloração verde-clara e localizada na porção não lignificados do ramo; folhas maduras - coloração verde-escura, completamente expandidas e localizadas na porção lignificada do ramo. As amostras de caule são referentes ao ramo principal e foi utilizada apenas a porção lignificada.

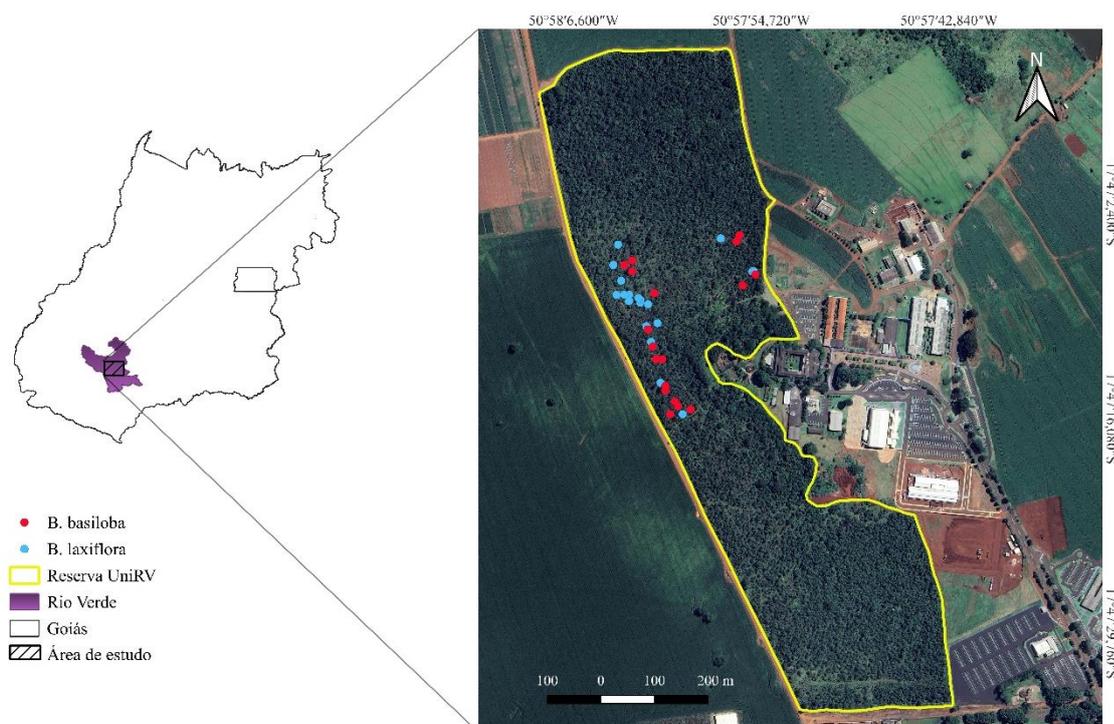


Figura 1. Área de estudo delimitada pela linha amarela, com predominância da fitofisionomia cerrado sentido restrito em Rio Verde-GO, Brasil.

3.2 Avaliações Biométricas

Análises biométricas após a secagem em estufa de circulação forçada a 60°C foram realizadas para fins de caracterização dos materiais vegetais (Benincasa, 2003), de acordo com as descrições abaixo:

- a) Número de folhas (jovens e maduras) em cada galho: obtido pela contagem destas estruturas;
- b) Diâmetro do caule: medida realizada por um paquímetro (mm), padronizado a 5cm abaixo da folha mais velha do ramo;

c) Comprimento do ramo principal: medida realizada com uma régua (cm), sendo medido o comprimento de cada ramo da amostra. E, quando havia mais de um ramo na amostra, foi realizada a média dos comprimentos;

d) Massa seca do ramo (MSR), massa seca de folhas jovens (MSFJ) e massa seca de folhas maduras (MSFM): medida realizada utilizando balança digital.

3.3 Preparo Das Amostras E De Determinação Das Concentrações De Alumínio E Fósforo

Os materiais vegetais (folhas jovens, folhas maduras e caules) secos foram triturados em moinho de facas do tipo Willey. Posteriormente, 500 mg de cada amostra do material foram transferidas para um cadinho de porcelana e levado à mufla elétrica para extração via seca. A mufla foi programada para atingir a temperatura de 500°C, e após atingir a temperatura, os materiais foram mantidos nessa temperatura por 3 horas. As cinzas obtidas nesse processo foram dissolvidas em 25 mL de HCl 1 N (extrato ácido) (Embrapa, 2009).

A concentração de Al foi realizada com base no método colorimétrico eriocromo cianina R (Embrapa, 2009). Para isso, foram pipetados 1,0 mL do extrato ácido, 1,0 mL de NaOH 0,25 mol L⁻¹, 1,0 mL de ácido ascórbico 2,5 %, 1,0 mL de ECR 0,15 % e 6,0 mL de NH₄CH₃CO₂ 4 M (pH 8,0). A solução resultante foi agitada e após 15 minutos foi efetuada a leitura das absorvâncias em espectrofotômetro a 535 nm. A concentração de Al foi estimada em mg kg⁻¹.

O teor de P foi feito conforme o método espectrofotométrico azul-de-molibdênio (Embrapa, 2009). Para isso, foi pipetado 5 mL do extrato ácido, 10 mL solução de molibdato de amônio a 2 %, 0,037 g de ácido ascórbico direto em cada tubo. A solução foi agitada e após 30 minutos foi efetuada a leitura das absorvâncias em espectrofotômetro a 660 nm. A concentração de P foi estimada em g kg⁻¹.

3.4 Análise De Solo

A área de amostragem foi dividida em quatro quadrantes e, em cada quadrante, com um trado Holandês, foram realizadas quatro amostragens de 0-20 cm e 20-40 cm. As

amostras simples foram misturadas para obtenção de uma amostra composta para cada faixa de profundidade. Os resultados das análises química e textural do solo são apresentadas na tabela 1.

Tabela 1 – Análises química e textural do solo da área de estudo.

Parâmetros analisados	Profundidades de amostragem	
	0-20 cm	20-40 cm
pH	4,15	4,27
MO (g dm ⁻³)	20,5	19,5
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,32	0,35
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	4,12	4,20
SB (cmol _c dm ⁻³)	32,2	25
V %	15	22,5
m %	32,25	25
CTC (cmol _c dm ⁻³)	4,89	5,56
P (mg dm ⁻³)	1,25	1
K (cmol _c dm ⁻³)	0,09	0,09
Mg (cmol _c dm ⁻³)	0,17	0,25
Ca (cmol _c dm ⁻³)	0,5	1,02
S-SO ₄ ²⁻ (mg dm ⁻³)	5	5,75
Cu (mg dm ⁻³)	0,57	0,90
Fe (mg dm ⁻³)	95,5	85
Zn (mg dm ⁻³)	2,1	2,6
Mn (mg dm ⁻³)	25	22,2
B (mg dm ⁻³)	0,26	0,25
Argila (%)	29	27
Silte (%)	7	6
Areia (%)	64	67

3. 5 Análises Estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas nos softwares RBio (Bhering, 2017) e RStudio (R Core Team, 2023), com auxílio do pacote Facto Shiny (Chang *et al.*, 2020). Os dados de parâmetros biométricos e acúmulo de Al e P foram submetidos a análise descritiva, e os de padrões de acúmulo de Al entre as espécies com variações sazonais a análise de componentes principais.

4. RESULTADOS

4.1 Caracterização Do Acúmulo Sazonal E Distribuição De Alumínio Em *Byrsonima*

No verão, *B. basiloba* apresentou maior concentração de Al no caule em relação às folhas jovens e madura, com médias de 923,0, 980,9 e 790,5 mg kg⁻¹, respectivamente, (Figura 2A). Ainda, há grande variação da concentração de Al nos órgãos entre os indivíduos amostrados, com concentrações variando de 225,3 a 2260,94 mg kg⁻¹ em caules, de 197,90 a 2617,70 mg kg⁻¹ em folhas jovens e de 722,17 a 1997,43 mg kg⁻¹ em folhas maduras (Figura 2A). Já *B. laxiflora* no verão teve maior concentração de Al nas folhas jovens quando comparada às folhas maduras e caule, com médias 712,6, 413,9 e 272,11 mg kg⁻¹, respectivamente (Figura 2A). Semelhante ao observado em *B. basiloba*, em *B. laxiflora* também houve grande variação da concentração de Al nos órgãos entre os indivíduos amostrados, com concentrações variando de 233,91 a 1360,00 mg kg⁻¹ em folhas jovens, de 145,15 a 790,15 mg kg⁻¹ em folhas maduras e de 110,40 a 479,72 mg kg⁻¹ em caules (Figura 2A).

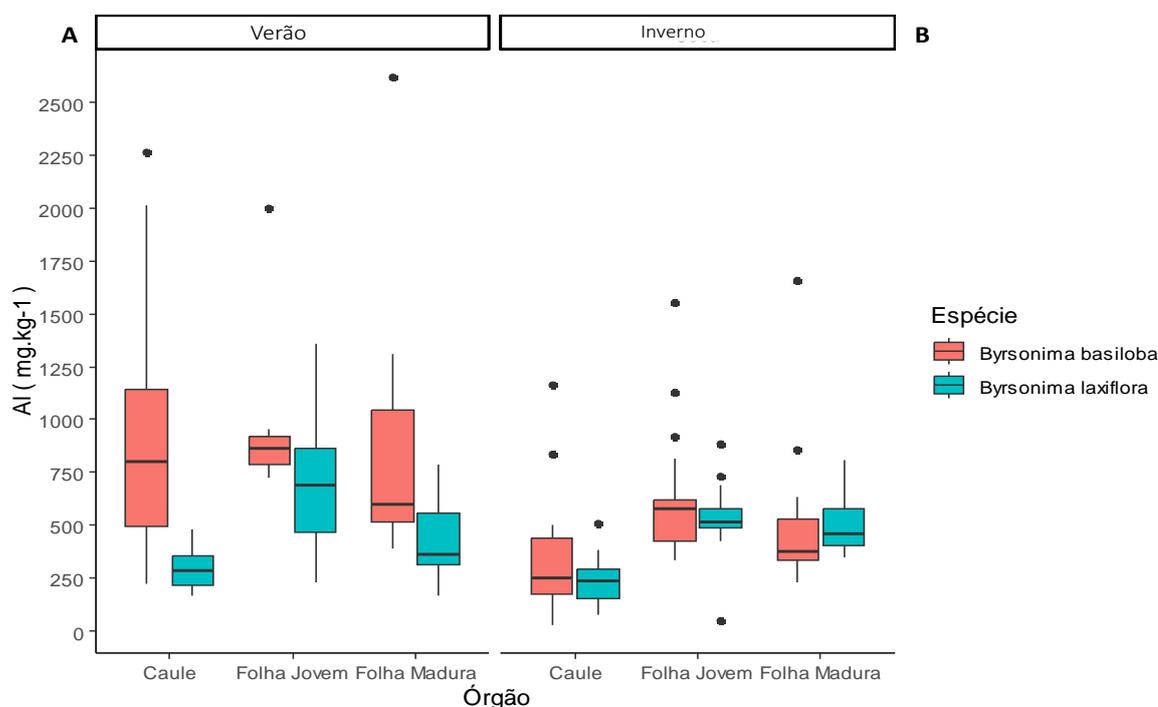


Figura 2. Concentração de Alumínio (mg kg⁻¹ de massa seca) em órgãos vegetativos aéreos de *B. basiloba* e *B. laxiflora* durante o verão (A) e inverno (B), em um fragmento de Cerrado sensu stricto localizado em Rio Verde, Goiás, Brasil.

No inverno, *B. basiloba*, com 636,00 mg kg⁻¹, apresentou maior concentração de Al em folhas jovens (Figura 2B), tendo grande variação da concentração de Al nos órgãos entre os indivíduos amostrados, com concentrações variando de 332,6 a 1556,5 mg kg⁻¹ em folhas jovens, de 230,9 a 1659,7 mg kg⁻¹ em folhas maduras, e de 26,2 a 1160,42 mg kg⁻¹ em caules (Figura 2B). *B. laxiflora*, com 532,4 mg kg⁻¹ de Al, também apresentou maior concentração nas folhas jovens (Figura 2B). A variação da concentração de Al nos órgãos entre os indivíduos amostrados variou de 52,15 a 885,0 mg.kg⁻¹ nas folhas jovens, de 347,1 a 808,2 mg kg⁻¹ em folhas maduras, e de 76,4 a 508,3 mg kg⁻¹ em caules (Figura 2B).

4.2 Caracterização Do Acúmulo Sazonal E Distribuição De Fósforo Em Byrsonima

O acúmulo de P em *B. basiloba* durante o verão foi mais alto no caule das plantas, com a média de 0.140 g kg⁻¹ (Figura 3A). E, a variação da concentração de P no caule, folhas jovens e maduras dos indivíduos amostrados, foi de 0,047 a 0,209, 0,071 a 0,122 e 0,029 a 0,137 g kg⁻¹, respectivamente. Já *B. laxiflora* apresentou maior concentração de P nas folhas jovens, seguido de folhas maduras e caule, com médias de 0,067, 0,049 e 0,5700 g kg⁻¹, respectivamente (Figura 3A). A variação da concentração de P entre os indivíduos amostrados de *B. laxiflora* variou de 0,044 a 0.098 g kg⁻¹ em folhas jovens, de 0,023 a 0,075 g kg⁻¹ em folhas maduras, e de 0,023 a 0,0102 g kg⁻¹ nos caules (Figura 3A).

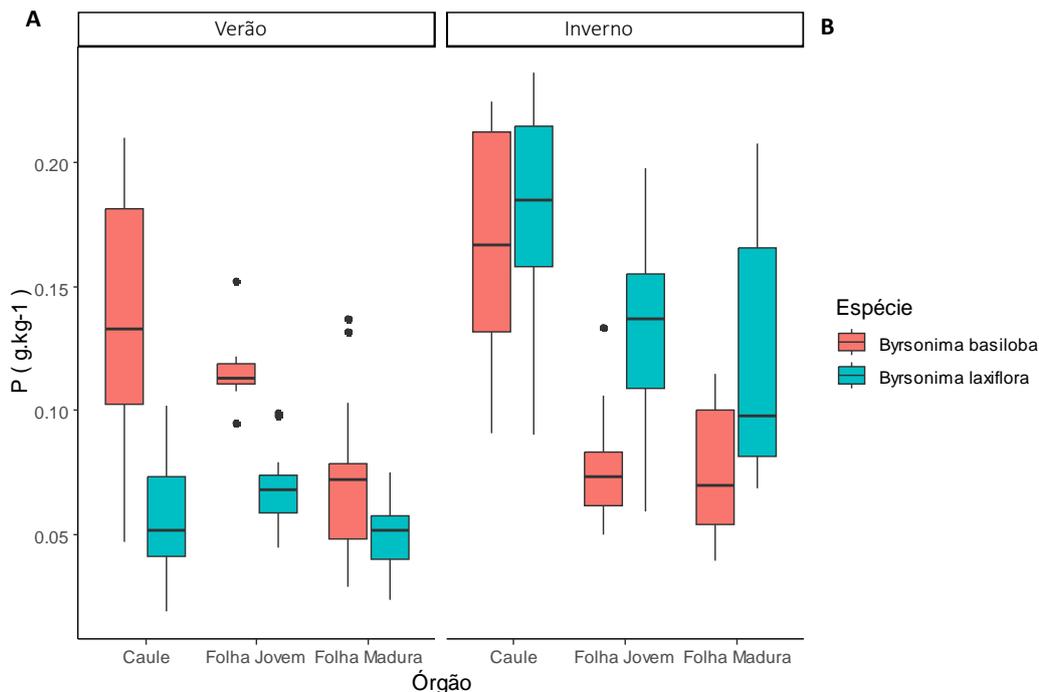


Figura 3 Concentração de fósforo (g kg^{-1} massa seca) em órgãos vegetativos aéreos de *B. basiloba* e *B. laxiflora* durante o verão (A) e inverno (B), em um fragmento de Cerrado sensu stricto localizado em Rio Verde, Goiás, Brasil.

A concentração de P em *B. basiloba* durante o inverno foi mais alta nos caules das plantas ($0,164 \text{ g kg}^{-1}$), e as folhas maduras e jovens tiveram concentração de P média de $0,076 \text{ g kg}^{-1}$ (Figura 3B). As variações na concentração de P no caule e folhas maduras e jovens das plantas amostradas foram de $0,0906$ a $0,2240$, $0,039$ a $0,1150$, e de $0,05$ a $0,0133 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente (Figura 3B). Nas plantas de *B. laxiflora* no inverno, a concentração de P média mais alta foi no caule, com $0,178 \text{ g kg}^{-1}$, e nas folhas maduras e jovens as concentrações médias de P foram de $0,120$ e $0,130 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente (Figura 3B). A variação da concentração de P entre as plantas amostradas de *B. laxiflora* foi de $0,0900$ a $0,2360 \text{ g kg}^{-1}$ nos caules, de $0,068$ a $0,207 \text{ g kg}^{-1}$ nas folhas maduras, e de $0,059$ a $0,0197 \text{ g kg}^{-1}$ nas folhas jovens (Figura 3B).

4.3 Relações Entre O Acúmulo De Alumínio E Fósforo E Parâmetros Biométricos Em Duas Espécies *Byrsonima* No Verão

A análise de componentes principais (PCA) permitiu a identificação de dois grupos distintos entre as duas espécies estudadas, um com a espécie *B. basiloba* e outro com a espécie *B. laxiflora*, em que as variáveis mais significativas para esse agrupamento

foram: comprimento do ramo (CR), massa do ramo (MR), diâmetro do caule (DC), concentração de Al em caule e folhas jovens (ALC, ALFJ), concentração de P em caule e folhas jovens (PC, PFJ, MFM), enquanto as demais variáveis foram menos significativas com base nos valores de suas respectivas contribuições (Figuras 4A e 4B). Dessa maneira, na coleta feita no verão, as plantas de *B. basiloba* apresentam maiores concentrações de Al e P em caule e folhas jovens em relação a *B. laxiflora* (Figuras 4C, 4E, 4F e 4H). As variáveis ALFM e PFM contribuíram menos para o agrupamento dos indivíduos das duas espécies estudadas (Figuras 4D e 4G).

As espécies *B. basiloba* e *B. laxiflora* podem ser diferenciadas pelo componente PC1, em que *B. laxiflora* tende a agrupar na região positiva do gráfico (Fig. 4B). Variáveis como ALC (Fig. 4 C) e PC (Fig. 4 F) mostram padrões claros nos componentes principais, enquanto as outras variáveis estão mais dispersas. Na concentração de ALC e PC, *B. basiloba* tende a agrupar-se na área em que muitos pontos são coloridos em vermelho, indicando altas concentrações de ALC e PC.

As variáveis ALFM (Fig. 4D), ALFJ (Fig. 4E), PFM (Fig. 4G) e PFJ (Fig. 4H) não apresentaram padrões claros de distinção entre *B. basiloba* e *B. laxiflora*, e indica que não são variáveis principais na diferenciação das espécies.

4.4 Relações Entre O Acúmulo De Alumínio E Fósforo E Parâmetros Biométricos Em Duas Espécies *Byrsonima* No Inverno

O primeiro componente principal explicou 24,02% da variância total, e o segundo 17,39%, totalizando 41,41% (Fig. 5A). A PCA permitiu a identificação de dois grupos distintos entre as duas espécies estudadas (Fig. 5B), sendo as variáveis mais significativas para esse agrupamento: número de folhas jovens (NFJ), massa de folhas jovens (MFJ), massa de folhas maduras (MFM), massa do caule (MC), diâmetro do caule (DC) e P em folhas maduras (PFM). As demais variáveis foram menos significativas com base nos valores de suas respectivas contribuições (Figuras 5A e 5B). No inverno, as variáveis ALC, ALFM, e ALFJ tiveram pouca contribuição na separação das espécies, não tendo padrão claro de distribuição (Figuras 5C, 5D e 5E, respectivamente). As plantas de *B. laxiflora* apresentaram maiores concentrações de P no caule, folha madura e folha jovem quando comparadas a *B. basiloba* (Figuras 5F, 5G, 5H).

4.5 Relações Entre O Acúmulo De Alumínio E Fósforo E Parâmetros Biométricos Em Duas Espécies De *Byrsonima* No Verão E Inverno.

Com base na PCA, as variáveis com maiores contribuições foram: massa de folha maduras (MFM), diâmetro do caule (DC), massa do ramo (MR), P em caule (PC) e comprimento do ramo (CR), enquanto as demais variáveis foram menos significativas com base nos valores de suas respectivas contribuições (Figura 6A). A distribuição dos indivíduos permitiu a formação de três grupos distintos com base nos componentes considerados (Figura 6B). Para *B. basiloba* as estações de coleta influenciam menos nas variáveis amostradas que em *B. laxiflora*, tendo em vista que há sobreposição dos indivíduos de *B. basiloba* nas duas estações de amostragens (Figura 6B), enquanto *B. laxiflora* apresenta um padrão de agrupamento distinto com base nas estações do ano (Figura 6B). As plantas de *B. basiloba* tiveram concentrações de Al mais altas no caule, folhas jovens e maduras em relação a *B. laxiflora* no verão e inverno (Figura 6C, 6E). A concentração de Al em folhas maduras apresentou menos contribuição para o agrupamento dos indivíduos de *B. laxiflora* nas duas estações de amostragem (Figura 6D). *B. laxiflora* teve concentrações de P mais alta em folhas maduras e jovens no inverno (Figura 6G, 6H).

As concentrações de Al em caule e folhas jovens e maduras não se correlacionaram com as concentrações de P nos mesmos órgãos (Figura 7).

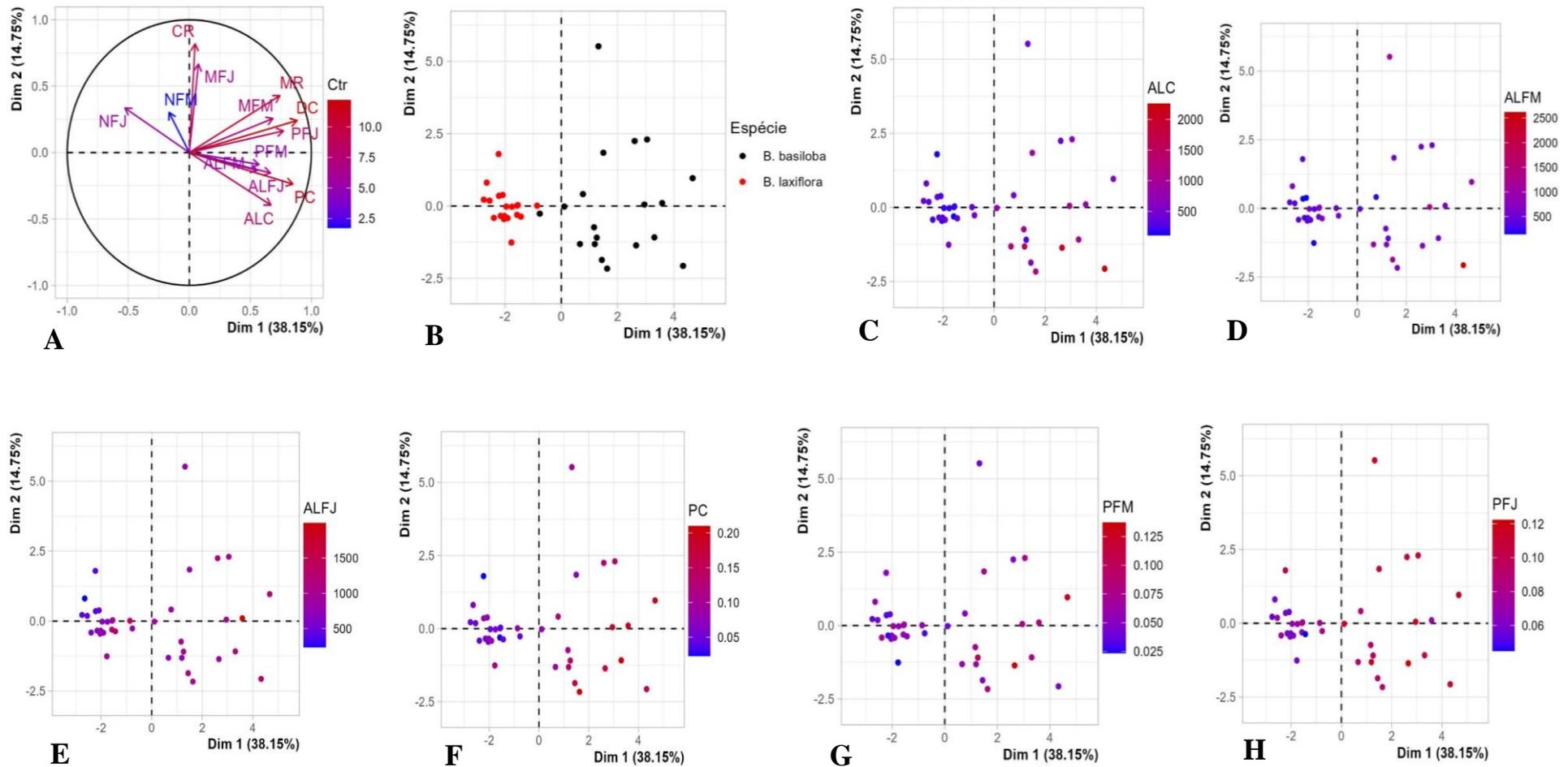


Figura 4. Gráfico da PCA (DIM 1 e DIM 2) da distribuição de espécies do gênero *Byrsonima* e respectivos em órgãos vegetativos aéreos e variáveis morfométricas no Verão. **A.** PCA variáveis. **B.** PCA indivíduos. **C:** ALC (Alumínio Caule); **D:** ALFM (Alumínio Folha Madura); **E:** ALFJ (Alumínio Folha Jovem); **F:** PC (Fósforo Caule); **G:** PFM (Fósforo Folha Madura); **H:** PFJ (Fósforo Folha Jovem).

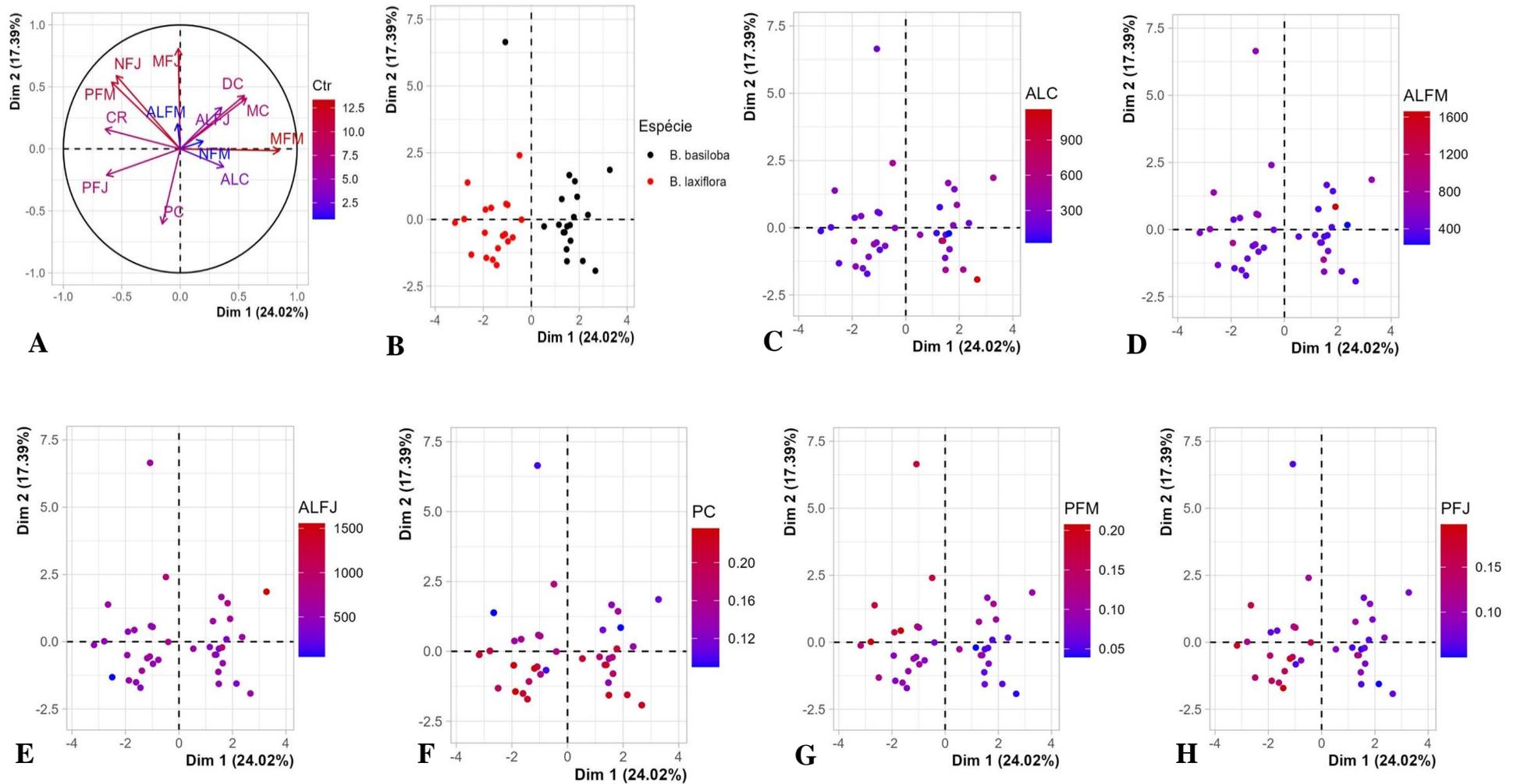


Figura 5. Gráfico da PCA (DIM 1 e DIM 2) da distribuição de espécies do gênero *Byrsonima* e respectivos em órgãos vegetativos aéreos e variáveis morfológicas no Inverno. **A.** PCA variáveis. **B.** PCA indivíduos. **C:** ALC (Alumínio Caule); **D:** ALFM (Alumínio Folha Madura); **E:** ALFJ (Alumínio Folha Jovem); **F:** PC (Fósforo Caule); **G:** PFM (Fósforo Folha Madura); **H:** PFJ (Fósforo Folha Jovem).

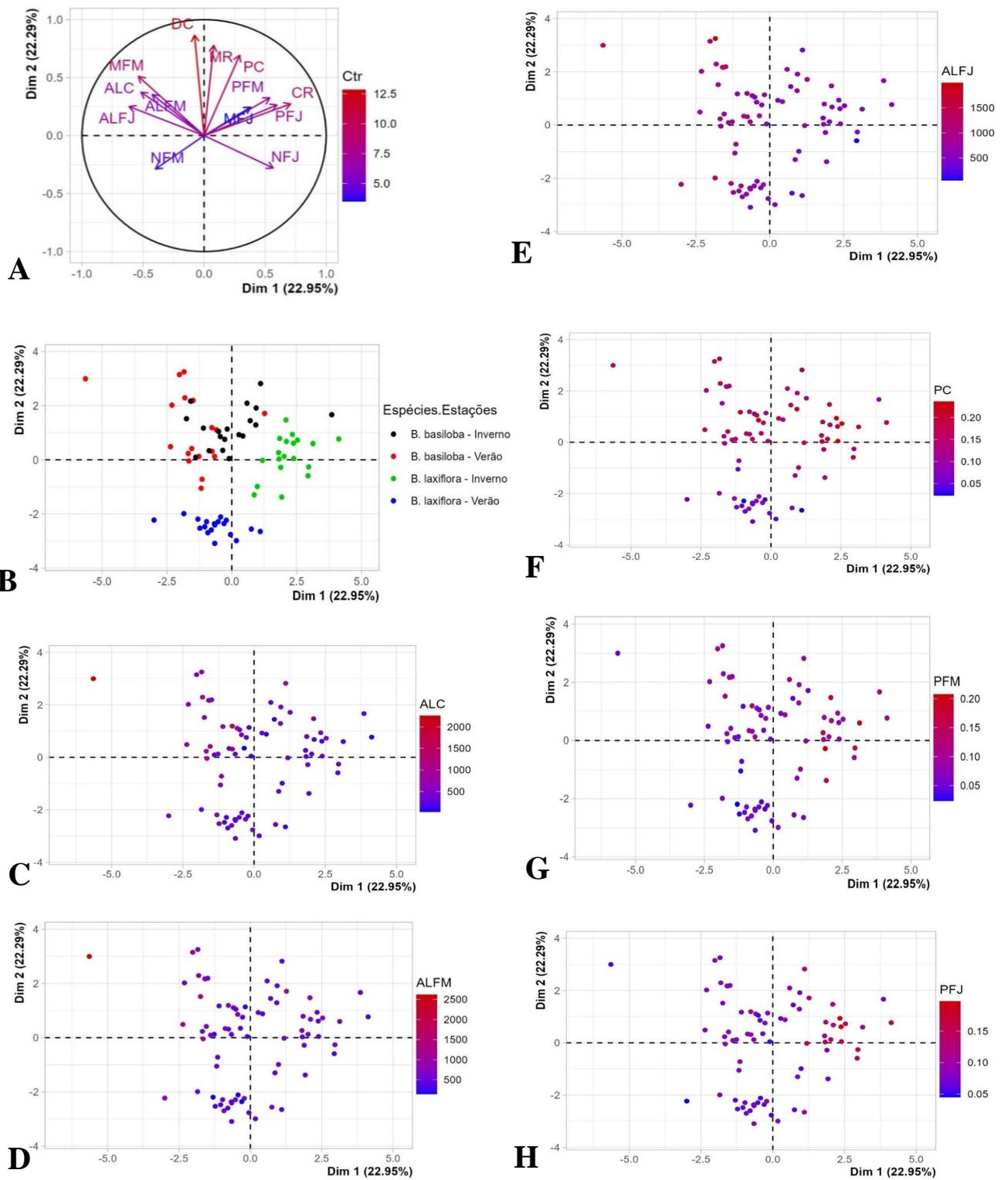


Figura 6. Gráfico da PCA (DIM 1 e DIM 2) da distribuição de espécies do gênero *Byrsonima* e respectivos em órgãos vegetativos aéreos e variáveis morfológicas no Verão e Inverno. **A:** PCA variáveis. **B:** PCA indivíduos. **C:** ALC (Alumínio Caule); **D:** ALFM (Alumínio Folha Madura); **E:** ALFJ (Alumínio Folha Jovem); **F:** PC (Fósforo Caule); **G:** PFM (Fósforo Folha Madura); **H:** PFJ (Fósforo Folha Jovem).

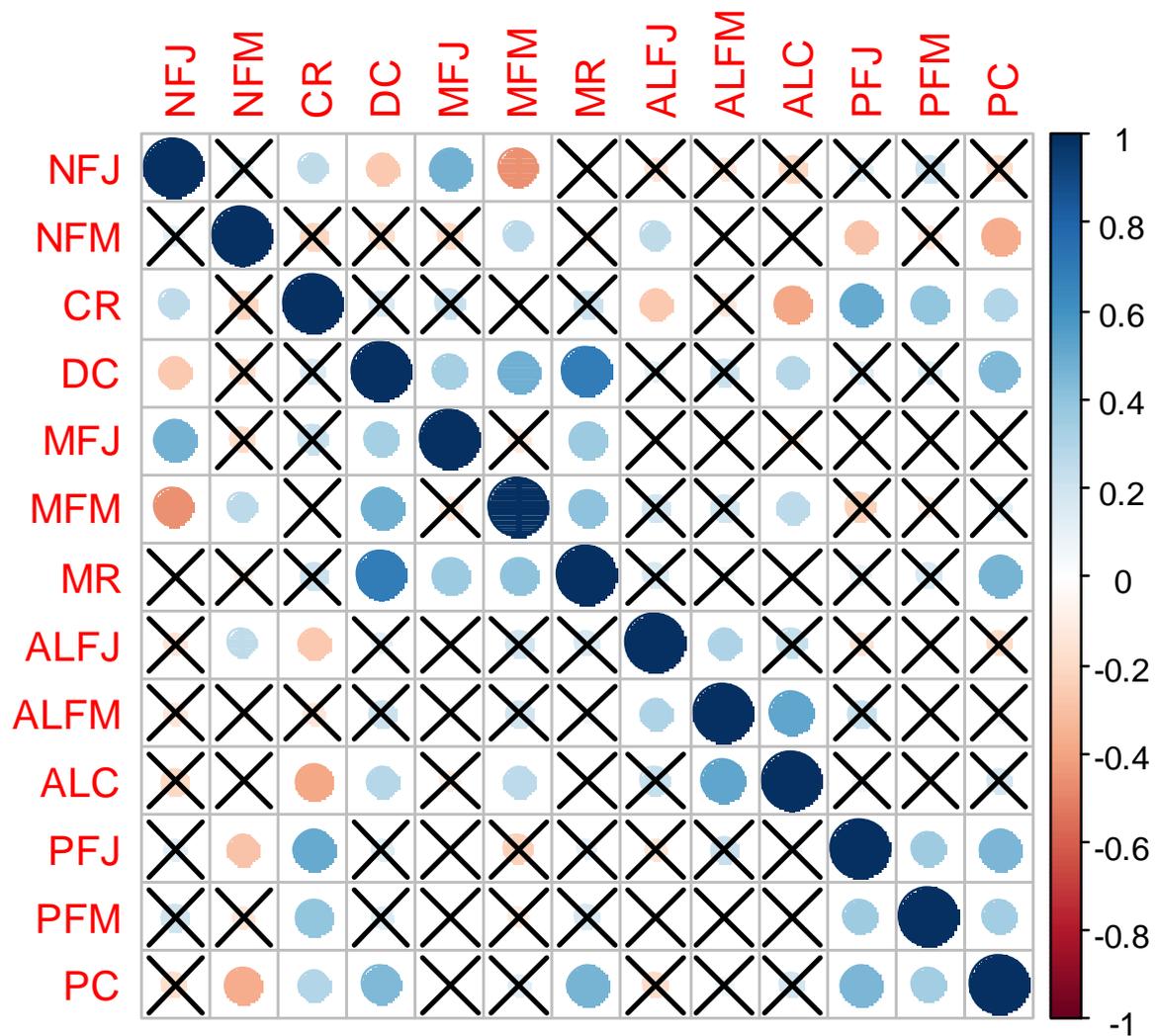


Figura 7. Correlação entre as características nutricionais e morfológicas de plantas de *Byrsonima basiloba* e *B. laxiflora* coletadas no verão e inverno em Rio Verde, Goiás, Brasil. NFJ: número de folhas jovens; NFM: número de folhas maduras; CR: comprimento do ramo; DC: diâmetro do caule; MFJ: massa folhas jovens; MFM: massa folha madura; MR: massa dos ramos; ALC: concentração de alumínio (Al) no caule; ALFJ: concentração de Al nas folhas jovens; ALFM: concentração de Al nas folhas maduras; PC: concentração de fósforo (P) no caule; PFJ: concentração de P nas folhas jovens; e PFM: concentração de P nas folhas maduras.

5. DISCUSSÃO

5.1 Acúmulo E Distribuição De Alumínio Em *B. Basiloba* E *B. Laxiflora*

As espécies *B. basiloba* e *B. laxiflora* não tiveram concentração de Al inferior a 1000 mg.kg⁻¹ em todos os órgãos analisados (Fig. 2A e 2B). Isso indica que não são espécies acumuladoras de Al, pois para serem classificadas como acumuladoras devem apresentar concentração de Al superior a 1000 mg.kg⁻¹ de massa seca (Jansen *et al.*, 2002; Robinson e Edgington, 1945; Chenery, 1948).

Em áreas em que o solo é rico em Al, algumas espécies de plantas adaptaram-se não somente para tolerar, mas também para aproveitar a presença do Al. Nesse contexto está incluso os mecanismos de sequestro de Al nos vacúolos celulares ou a modificação do metabolismo para lidar com o Al de forma mais eficiente (Watanabe; Osaki, 2002).

O solo do cerrado tem como uma de suas características elevada acidez e, conseqüentemente, alta concentração de Al trocável (Al³⁺), que é tóxico para os vegetais. Assim, as plantas que colonizaram esse ambiente apresentam, naturalmente, tolerância a esse elemento tóxico, e plantas que apresentam concentração de Al superiores a 1000 mg.kg⁻¹ de massa seca são categorizadas como acumuladoras de Al (Jansen *et al.*, 2002; Robinson e Edgington, 1945; Chenery, 1948).

A exemplo, *Miconia albicans*, que é conhecida por ser uma acumuladora de Al (Timpone e Haberman, 2022). Nessa espécie, a concentração de Al pode atingir concentrações foliares superiores a 6000 mg kg⁻¹ de massa seca, e sugere alta capacidade de absorver e acumular Al (Timpone e Haberman, 2022). Entretanto, sobreviver em um ambiente com esse tipo de limitação pode envolver estratégias diversas, como menor absorção e transporte de Al para tecidos foliares, como observado nestes resultados, com concentrações de Al em folhas maduras variando de 722,17 a 1997,43 e de 145,15 a 790,15 mg kg⁻¹ para *B. basiloba* e *B. laxiflora*, respectivamente (Figura 2A). Tal informação sugere que as duas espécies estudadas não são acumuladoras de Al e, possivelmente, possuem estratégias de limitação da absorção de Al, ou, ainda, direcionamento do Al para estruturas caulinares como observado apenas em *B. basiloba* (Figura 2A). Os resultados encontrados no presente estudo corroboram com Haridasan (1982), cujo estudo identificou que as espécies de *B. crassa*, *B. coccolobifolia* e *B. verbascifolia* apresentaram 210, 210 e 360 mg kg⁻¹ de Al, respectivamente, em folhas maduras completamente expandidas; e com Mazorra *et al.* (1987), em *B. crassifolia*, apresentando 715

mg kg⁻¹ Al. Isso demonstra que essas espécies apresentam concentrações bem abaixo do sugerido por Robinson e Edgington (1945) e Chenery (1948).

Espécies de gênero *Symplocos* de ocorrência na Indonésia, também apresentaram padrão de acúmulo de Al diferencial em função do estágio de desenvolvimento foliar (Schmitt *et al.*, 2016). Os resultados deste estudo demonstraram que *S. odoratissima* e *S. ophirensis* não diferem no acúmulo de Al entre folhas jovens e maduras, no entanto a espécie *S. ambangensis* apresentou concentração de Al variando maior em folhas maduras que em folhas jovens (Schmitt *et al.*, 2016). Comparativamente, em espécies de *Byrsonima* também há variação no acúmulo de Al do estágio de desenvolvimento das folhas, mesmo que para as espécies estudadas a concentração de Al tenha sido menor que as observadas para as espécies de *Symplocos*, que em folhas jovens apresentaram concentrações de Al maiores que em folhas maduras no verão (Figura 2A, Figura 2B). Um outro exemplo semelhante ocorre em *Camellia sinensis*, que pode acumular mais de 30.000 mg kg⁻¹ em folhas maduras e, em contra partida, a concentração desse elemento é inferior a 1000 mg kg⁻¹ nas folhas jovens (Matsumoto *et al.*, 1976). O processo gradual de acumulação de Al nas folhas é sustentado pela pesquisa de Matsumoto *et al.* (1976), na qual foi observado que o Al se concentra nas folhas velhas de *C. sinensis* em níveis significativos, enquanto nas folhas jovens a presença é mínima. Essa observação sugere que o Al é absorvido pelo sistema radicular das plantas e posteriormente transportado para as folhas, e é acumulado ao longo do tempo.

Em estudo realizado com espécies de ocorrência no Cerrado e com reconhecida capacidade de tolerância ao Al, como *Miconia albicans*, *M. rubiginosa*, *M. fallax* e *Qualea grandiflora*, já foram observadas folhas maduras apresentando concentração de alumínio três vezes superior ao observado em folhas jovens (Souza *et al.*, 2015). Adicionalmente, Timpone e Haberman (2022) identificaram que *M. albicans* apresenta concentração de Al variando entre 3.000 e 5.000 mg kg⁻¹ massa seca em tecido foliar. Considerando isso, o acúmulo de Al nas espécies de *Byrsonima* estudadas corrobora com o padrão de acúmulo diferencial em função do estágio de desenvolvimento foliar. Além disso, os resultados encontrados mostram que o caule funciona como órgão de acumulação de Al, expandindo a compreensão sobre a capacidade de acumulação de Al em órgãos vegetativos, destacando que as folhas não são o único destino deste elemento.

5.2 Acúmulo E Distribuição De Fósforo Em *B. Basiloba* E *B. Laxiflora*

Sabidamente, o cerrado possui solos pobres quimicamente e, além disso, a alta concentração de alumínio, pode interferir na absorção de nutrientes, como é o caso do fósforo, que pode formar complexos estáveis e insolúveis com o alumínio (Freitas *et al.*, 2006; Liu *et al.*, 2020). Dito isso, é esperado que plantas de ambientes com alta concentração de alumínio tenham menor concentração de P em seus tecidos. Entretanto, no estudo de Amaury de Medeiros e Haridasan (1985) os resultados demonstraram que espécies acumuladoras (*Palicourea rigida*, *Vochysia elliptica*, *Qualea parviflora* e *Miconia albicans*) e não acumuladoras (*Ouratea hexas. erma*, *Roupala montana*, *Caryocar brasiliense* e *Sclerolobium paniculatum*) de Al não apresentaram diferenças sazonais nas concentrações de P. Estes resultados com as duas espécies de *Byrsonima* mostraram que as variações sazonais influenciaram nas concentrações de Al e P em cada um dos órgãos vegetativos aéreos (Figura 2, Figura 3). Com base em informações relacionadas, Amaury de Medeiros e Haridasan (1985) descobriram que havia diferenças significativas dentro das espécies de cada grupo, com folhas jovens de todas as espécies apresentando as maiores concentrações de P (variando de 0,16 a 0,21% massa seca) do que em folhas maduras (variando de 0,05 a 0,06 % massa seca). Da mesma forma, estes resultados mostraram que plantas de *B. basiloba* e *B. laxiflora* apresentam as maiores concentrações de P no caule, seguido das folhas jovens e maduras em ambas as estações (Figura 3). Isto sugere que a capacidade de absorção de P e a acumulação em órgãos vegetativos podem variar sazonalmente, e este é um fator que contribui para a absorção e acumulação de P nas plantas.

Pesquisas acerca da sazonalidade e da absorção de nutrientes podem revelar diferenças significativas, exibindo notável variação e em muitos casos, gerando conclusões antagônicas. Como exemplo, em *Byrsonima crassa* Nied, as observações de Araújo e Haridasan (2007) apontaram para variações sazonais nas concentrações de nutrientes, evidenciando picos de P no início da estação chuvosa e declínios ao final da estação seca. Estes resultados opõem-se aos dados obtidos neste estudo (Figura 3). Dessa forma, essas descobertas sugerem que as variações nos níveis de nutrientes presentes nas folhas podem ser influenciadas por fatores sazonais e pelas características das espécies.

A capacidade de tolerância ao Al em muitas plantas pode estar relacionada a eficiência na absorção do P (Mossor-Pietraszewska, 2001). Isto é especialmente verdadeiro para espécies originárias de ambientes com solos altamente intemperizados e ácidos, como o cerrado. Dessa

forma, o Al contribui no desenvolvimento das plantas (Bojórquez-Quintal *et al.*, 2017) e estimula a absorção de diversos nutrientes, incluindo o P (Liu *et al.*, 2020). Por causa da baixa disponibilidade de P no solo (Lopes e Guimaraes 2016; Rahma *et al.*, 2018) há capacidade dos vegetais, a exemplo de *B. verbascifolia*, de absorver P mesmo após um incêndio (Lambers *et al.*, 2022). Assim, como mostrado neste estudo, em ambientes com baixos níveis de P, as espécies de *Byrsonima* podem absorver e acumular eficientemente P em seus órgãos vegetativos aéreos, embora haja variações entre as espécies e os locais de acumulação. Além disso, a eficiência na absorção e acúmulo de P pode ser influenciada por uma variedade de fatores, o que pode incluir as características genéticas de cada espécie, as condições edáficas do solo e as interações simbióticas com microrganismos do solo, como as micorrizas (Lambers *et al.*, 2022).

5.3 Relações Entre O Acúmulo De Alumínio E Fósforo E Parâmetros Biométricos Em Duas Espécies *Byrsonima* No Verão E Inverno

Estes resultados evidenciam a presença de dois agrupamentos distintos de *Byrsonima*, tanto durante o verão quanto no inverno (Figura 4, Figura 5). É possível inferir que as características morfométricas desempenham papel crucial na distinção entre as espécies. Oliveira (2019), em sua extensa análise de diversas espécies, constatou que o acúmulo de Al ocorria de maneira independente das características morfológicas, do hábito e até mesmo das partes reprodutivas das plantas, impossibilitando estabelecer correlações entre o tipo de tolerância e o acúmulo de Al. Portanto, com base nessas informações, os caracteres morfológicos e morfométricos em *Byrsonima* não determinam diretamente a capacidade de acúmulo de Al e P nos órgãos vegetativos. Embora os resultados do presente estudo indiquem que os caracteres morfológicos e morfométricos em *Byrsonima* não determinam diretamente a capacidade de acumulação de Al e P nos órgãos vegetativos aéreos, não se pode ignorar a importância na diferenciação entre as espécies, mostrando como cada variável contribuiu para essa distinção. A diferenciação ecofisiológica das espécies de *B. basiloba* e *B. laxiflora* em dois grupos distintos é demonstrada pela análise das concentrações de Al e P em diferentes partes da planta, como o caule, folhas maduras e jovens (Figura 4, Figura 5).

O Al desempenha papel significativo na ecofisiologia das plantas, podendo ser considerado tóxico para muitas espécies, e seu impacto que pode variar de acordo com fatores como concentração, tempo de exposição, espécie de planta, estágio de desenvolvimento e, também das condições de crescimento (Horst *et al.*, 2010; Yang e Horst, 2015; Ofoe *et al.*, 2023). Algumas espécies vegetais têm a capacidade de tolerar ou mesmo acumular Al em seus

órgãos e tecidos, desenvolvendo adaptações específicas para lidar com esse estresse (Silva *et al.*, 2023). A ecofisiologia das plantas em ambientes com alta concentração de Al, como o Cerrado, envolve a ativação de mecanismos de tolerância (Kochian *et al.*, 2015). Dessa forma, a concentração de Al exerce influência direta na ecofisiologia das plantas do gênero *Byrsonima*, contribuindo para a definição das estratégias adaptativas e, também, dos padrões de distribuição.

5.4 Correlação De Alumínio E Fósforo Com As Variáveis Biométricas No Verão E Inverno

As concentrações de Al e P no caule, nas folhas maduras e nas folhas jovens de *Byrsonima* não se correlacionaram (Figura 6 e Figura 7). As adaptações das plantas do Cerrado às condições edáficas peculiares da região, caracterizadas por solos ácidos e com alta concentração de alumínio, resultaram em diversidade de estratégias adaptativas para lidar com as limitações nutricionais e a toxicidade do alumínio (Ribeiro e Walter, 2008). Essa diversidade inclui a evolução de mecanismos de absorção de fósforo (P) e alumínio (Al) relativamente independentes. Essa independência metabólica permitiria que as espécies do Cerrado absorvessem P de forma eficiente sem que isso esteja diretamente ligado à captação de Al, como sugerido por Haridasan (2008). Tal característica contribui para a manutenção da alta diversidade biológica desse bioma. Essas variações no metabolismo das plantas podem resultar em padrões de correlação distintos entre os dois elementos. Isso pode ocorrer pela capacidade de uma planta tolerar baixa disponibilidade de P no solo podendo ser alcançada por meio de dois tipos de mecanismos: internos e externos. Os mecanismos internos atuam para otimizar a forma como as plantas utilizam o fósforo internamente, enquanto os mecanismos externos visam melhorar a aquisição de P do solo (Magalhaes *et al.*, 2018), ou seja, justifica-se pelo fato da utilização de mecanismos exclusivos de absorção, transporte e alocação de nutrientes (Brunner; Sperisen 2018), adaptando a morfologia e fisiologia em resposta a ambientes com restrições de P, com a finalidade de otimizar a capacidade de captar e utilizar eficientemente esse nutriente. Essa adaptação permite às plantas lidarem de forma eficaz na distribuição de P (Khan *et al.*, 2023). Como observado em *Byrsonima*, as tendências não seguem o padrão comumente observado em outras plantas, e resulta em variações na relação entre as concentrações de Al e P. Isso sugere que as variações na disponibilidade de Al não necessariamente afetam diretamente a absorção de P, conforme observado em *Byrsonima*.

Assim, a falta de correlação entre esses dois elementos nos órgãos vegetativos aéreos de *Byrsonima* pode ser atribuída a variedade de fatores, que pode incluir as estratégias e mecanismos adaptativos específicos dessa espécie, que influenciam a capacidade de absorver Al e P.

Além disso, os resultados do presente estudo mostram correlações adicionais (Figura 7). A concentração de Al na folha madura e no caule correlacionaram-se positivamente, bem como entre a concentração de P na folha jovem e no caule, e entre o diâmetro do caule e a concentração de Al no caule (Figura 7). Tais resultados podem ser explicados com base nos processos de translocação e redistribuição de nutrientes dentro da planta (Kochian *et al.*, 2004; Kochian *et al.*, 2015). Esses padrões podem sugerir a possibilidade de o caule desempenhar um papel na distribuição de Al e P em *Byrsonima*. Apesar de não haver estudos específicos sobre a recepção e distribuição de Al e P em diferentes partes da planta, essas observações podem indicar potencial função do caule nesses processos. Assim, o caule desempenha papel tanto na recepção e como na distribuição do Al e P entre diferentes partes da planta de *Byrsonima*, incluindo folhas maduras e jovens. Com base na correlação positiva entre o diâmetro do caule e a concentração de Al no caule (Figura 7), tal resultado pode ser explicado pelos processos de absorção e acumulação de Al (Kochian *et al.*; 2015; Bressan, 2018). Possivelmente, caules com o diâmetro maior tendem a proporcionar maior capacidade de absorção de nutrientes, resultando em maior captação e acumulação de Al.

6. CONCLUSÕES

- As variáveis de concentrações de Al e P em caule, folhas maduras e jovens permitem categorizar as espécies de *B. basiloba* e *B. laxiflora* em dois grupos distintos ecofisiologicamente;
- Não há correlação entre as concentrações de Al e P em caule, folhas maduras e jovens tanto em *B. basiloba* como em *B. laxiflora*;
- No verão, as concentrações de Al e P em caule, folhas maduras e jovens é maior em *B. basiloba* que em *B. laxiflora*;
- No inverno, as concentrações de Al em caule, folhas maduras e jovens e as concentrações de P em caule não são discrepantes entre *B. basiloba* e *B. laxiflora*;
- No inverno, a concentração de P em folhas maduras e jovens é maior em *B. laxiflora* que em *B. basiloba*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anderson, W. R. (1979). Floral Conservatism in Neotropical Malpighiaceae. *Biotropica*, 11(3), 219–223. <https://doi.org/10.2307/2388042>

Anderson, W. R. (1990). The origin of the Malpighiaceae: the evidence from morphology. *Memoirs of the New York Botanical Garden*, 64, 210-224.

Rodriguez-Pontes, M. (2007). Development of megagametophyte, embryo, and seed in *Senna corymbosa* (Lam.) H.S. Irwin & Barneby (Leguminosae - Caesalpinioideae). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 153(2), 169–179. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2007.00599.x>

Araújo, J. F. de, & Haridasan, M. (2007). Relação entre deciduidade e concentrações foliares de nutrientes em espécies lenhosas do cerrado. *Revista Brasileira de Botânica*, 30(3), 533–542. <https://doi.org/10.1590/s0100-84042007000300017>

De Fátima Agra, M., De Freitas, P. F., & Barbosa-Filho, J. M. (2007). Synopsis of the plants known as medicinal and poisonous in Northeast of Brazil. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 17(1), 114–140. <https://doi.org/10.1590/s0102-695x2007000100021>

De Alcântara, B. K., Pizzaia, D., Piotto, F. A., Borgo, L., Brondani, G. E., & Azevedo, R. A. (2015). Temporal dynamics of the response to al stress in eucalyptus Grandis × eucalyptus Camaldulensis. *Anais Da Academia Brasileira de Ciencias*, 87(2), 1063–1070. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201520140322>

Alvarez, I., Sam, O., Reynaldo, I., Testillano, P., del Carmen Risueño, M., & Arias, M. (2012). Morphological and cellular changes in rice roots (*Oryza sativa* L.) caused by Al stress. *Botanical Studies*, 53(1), 67–73.

Andrade, L. R. M., Barros, L. M. G., Echevarria, G. F., Velho do Amaral, L. I., Cotta, M. G., Rossatto, D. R., ... Franco, A. C. (2011). Al-hyperaccumulator Vochysiaceae from the Brazilian Cerrado store aluminum in their chloroplasts without apparent damage. *Environmental and Experimental Botany*, 70(1), 37–42. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2010.05.013>

Barceló, J., & Poschenrieder, C. (2002). Fast root growth responses, root exudates, and internal detoxification as clues to the mechanisms of aluminium toxicity and resistance: A review. *Environmental and Experimental Botany*. [https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(02\)00013-8](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(02)00013-8)

Balestra, C. L. Morfologia Floral e Biologia da Polinização de *Byrsonima basiloba* A. Juss (Malpighiaceae) Proveniente de Cerrado do Sudoeste Goiano. 2013.

Belisário, C. M., & Coneglian, R. C. C. (2013). Qualidade de Frutos de Murici (*Byrsonima crassifolia*, Malpighiaceae) Armazenados sob Refrigeração. *Global Science and Technology*, 6(2), 95–101. <https://doi.org/10.14688/1984-3801.v06n02a11>

Bojórquez-Quintal, E., Escalante-Magaña, C., Echevarría-Machado, I., & Martínez-Estévez, M. (2017, October 12). Aluminum, a friend or foe of higher plants in acid soils. *Frontiers in Plant Science*. Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01767>

Rout, G. R., Samantaray, S., & Das, P. (2001). Aluminium toxicity in plants: A review. *Agronomie*. EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/agro:2001105>

Benincasa, M.M.P. Análise de crescimento de plantas: noções básicas. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41p.

Bhering, L. L. (2017). Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 17(2), 187–190. <https://doi.org/10.1590/1984-70332017v17n2s29>

Bressan, A. C. G. (2018). Respostas de espécies nativas do Cerrado a diferentes concentrações de alumínio (Al).

Bressan, A. C. G., Coan, A. I., & Habermann, G. (2016). X-ray spectra in SEM and staining with chrome azurol S show Al deposits in leaf tissues of Al-accumulating and non-accumulating plants from the cerrado. *Plant and Soil*, 404(1–2), 293–306. <https://doi.org/10.1007/s11104-016-2841-1>

Brunner, I., & Sperisen, C. (2013). Aluminum exclusion and aluminum tolerance in woody plants. *Frontiers in plant science*, 4, 172.

Camargo, C. E. de O., Ferreira Filho, A. A. P., & Freitas, J. G. de. (1998). Avaliação de genótipos de centeio, triticale, trigo comum e trigo duro quanto à tolerância ao alumínio em solução nutritiva. *scientia agricola*, 55(2), 227–232. <https://doi.org/10.1590/s0103-90161998000200010>

Colli, G. R., Vieira, C. R., & Dianese, J. C. (2020, April 1). Biodiversity and conservation of the Cerrado: recent advances and old challenges. *Biodiversity and Conservation*. Springer. <https://doi.org/10.1007/s10531-020-01967-x>

Jeffrey, C., & Cronquist, A. (1984). An Integrated System of Classification of Flowering Plants. *Kew Bulletin*, 38(4), 675. <https://doi.org/10.2307/4108577>

Čiamporová, M. (2002). Morphological and structural responses of plant roots to aluminium at organ, tissue, and cellular levels. *Biologia Plantarum*. <https://doi.org/10.1023/A:1015159601881>

Clegg, S., & Gobran, G. R. (1995). Effects of aluminium on growth and root reactions of phosphorus stressed *Betula pendula* seedlings. *Plant and Soil*, 168–169(1), 173–178. <https://doi.org/10.1007/BF00029326>

Chang, W., Cheng, J., Allaire, J., Sievert, C., Schloerke, B., Xie, Y., ... Borges, B. (2022). shiny: Web Application Framework for R. R package version 1.7. 2.9000. Retrieved February.

Chenery, E. M. (1948). Aluminium in the Plant World. *Kew Bulletin*, 3(2), 173. <https://doi.org/10.2307/4119757>

Conceição, G. M., Ruggieri, A. C., Rodrigues, M. S. (2011). Malpighiaceae do cerrado do Parque Estadual do Mirador , Maranhão , Brasil. *Scientia Plena*, 7(February 2011), 2007–2012. Retrieved from <https://www.scienciaplena.org.br/sp/article/view/52>

Coutinho, L. M. (2006). O conceito de bioma. *Acta Botanica Brasilica*, 20(1), 13–23. <https://doi.org/10.1590/s0102-33062006000100002>

Clarkson, D. T. (1965). The effect of aluminium and some other trivalent metal cations on cell division in the root apices of *Allium cepa*. *Annals of Botany*, 29(2), 309–315. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a083953>

Clymo, R. S. (1962). An Experimental Approach to Part of the Calcicole Problem. *The Journal of Ecology*, 50(3), 707. <https://doi.org/10.2307/2257478>

Davis, C. C., Anderson, W. R., & Donoghue, M. J. (2001). Phylogeny of Malpighiaceae: Evidence from chloroplast *ndhF* and *trnL-F* nucleotide sequences. *American Journal of Botany*, 88(1–12), 1830–1846. <https://doi.org/10.2307/3558360>

DeGroot, K. V., McCartha, G. L., & Pollard, A. J. (2018). Interactions of the manganese hyperaccumulator *Phytolacca americana* L. with soil pH and phosphate. *Ecological Research*, 33(4), 749–755. <https://doi.org/10.1007/s11284-017-1547-z>

Echart, C. L., & Cavalli-Molina, S. (2001). Aluminum phytotoxicity: effects, tolerance mechanisms and its genetic control. *Ciência Rural*, 31, 531–541.

Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

Francener, A. *Byrsonima* in Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB8837>>. Acesso em: 16 jun. 2023

Ferreira, D. F. (2011). Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, 35(6), 1039–1042. <https://doi.org/10.1590/s1413-70542011000600001>

Freitas, F. A. de, Kopp, M. M., Sousa, R. O. de, Zimmer, P. D., Carvalho, F. I. F. de, & Oliveira, A. C. de. (2006). Absorção de P, Mg, Ca e K e tolerância de genótipos de arroz submetidos a estresse por alumínio em sistemas hidropônicos. *Ciência Rural*, 36(1), 72–79. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782006000100011>

Foy, C. D. (1988). Plant adaptation to acid aluminum-toxic soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 19(7–12), 959–987. <https://doi.org/10.1080/00103628809367988>

Furley, P. A., & Ratter, J. A. (1988). Soil Resources and Plant Communities of the Central Brazilian Cerrado and Their Development. *Journal of Biogeography*, 15(1), 97. <https://doi.org/10.2307/2845050>

Gomes, S. D. S. Efeitos do alumínio e mecanismos de tolerância à toxicidade em espécies de *Eucalyptus* e *Pinus* (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

Grevenstuk, T., & Romano, A. (2013, December). Aluminium speciation and internal detoxification mechanisms in plants: Where do we stand? *Metallomics*. <https://doi.org/10.1039/c3mt00232b>

Gupta, N., Gaurav, S. S., & Kumar, A. (2013). Molecular Basis of Aluminium Toxicity in Plants: A Review. *American Journal of Plant Sciences*, 04(12), 21–37. <https://doi.org/10.4236/ajps.2013.412a3004>

Hamacek, F. R., Martino, H. S., & Pinheiro-Sant'Ana, H. M. (2014). Murici, fruto do Cerrado mineiro: características físicas e físico-químicas, ocorrência e concentração de carotenoides e vitaminas. *Frutas*, 69(6), 459-472.

Haridasan, M. (1982). Aluminium accumulation by some cerrado native species of central Brazil. *Plant and Soil*, 65(2), 265–273. <https://doi.org/10.1007/BF02374657>

Haridasan, M., Paviani, T. I., & Schiavini, I. (1986). Localization of aluminium in the leaves of some aluminium-accumulating species. *Plant and Soil*, 94(3), 435–437. <https://doi.org/10.1007/BF02374336>

Haridasan, M. (1988). Performance of miconia albicans (sw.) triana, an aluminum-accumulating species, in acidic and calcareous soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 19(7–12), 1091–1103. <https://doi.org/10.1080/00103628809367997>

Haridasan, M. (2000). Nutricao mineral de plantas nativas do cerrado. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 12(1), 54–64.

Haridasan, M. (2006). Alumínio é um elemento tóxico para as plantas nativas do cerrado? *Fisiologia Vegetal: práticas em relações hídricas, fotossíntese e nutrição mineral*. Editora Manole, Barueri, SP, 466.

Haridasan, M. (2008). Nutritional adaptations of native plants of the cerrado biome in acid soils. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. Sociedade Brasileira de Fisiologia Vegetal. <https://doi.org/10.1590/s1677-04202008000300003>

Hartwig, I., Oliveira, A. C. de, Carvalho, F. I. F. de, Bertan, I., Silva, J. A. G. da, Schmidt, D. A. M., ... Reis, C. E. S. dos. (2007). Mecanismos associados à tolerância ao alumínio em plantas. *Semina: Ciências Agrárias*, 28(2), 219. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2007v28n2p219>

He, H., Li, Y., & He, L. F. (2019, July 1). Aluminum toxicity and tolerance in Solanaceae plants. *South African Journal of Botany*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.02.008>

Higuchi, C. T. (2007). *Byrsonima* ssp: estudo anatômico e histoquímico foliar, atividade antimicrobacteriana e citotoxicidade de extratos e seus derivados.

Horst, W. J., Wang, Y., & Eticha, D. (2010, July). The role of the root apoplast in aluminium-induced inhibition of root elongation and in aluminium resistance of plants: A review. *Annals of Botany*. <https://doi.org/10.1093/aob/mcq053>

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA—. Mapa de Clima. Disponível em: <https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#mapa784>. Acesso em: 28 junho. 2007.

Jansen, S., Broadley, M. R., Robbrecht, E., & Smets, E. (2002). Aluminum hyperaccumulation in angiosperms: A review of its phylogenetic significance. *Botanical Review*. [https://doi.org/10.1663/0006-8101\(2002\)068\[0235:AHIAAR\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0006-8101(2002)068[0235:AHIAAR]2.0.CO;2)

Judd, W. S., Campbell, C. S., Kellogg, E. A., Stevens, P. F., & Donoghue, M. J. (2009). Sistemática Vegetal - Um Enfoque Filogenético. *Taxon*.

Kochian, L. V. (1995). Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 46(1), 237–260. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.46.060195.001321>

Kochian, L. V., Piñeros, M. A., & Hoekenga, O. A. (2005, July). The physiology, genetics and molecular biology of plant aluminum resistance and toxicity. *Plant and Soil*. <https://doi.org/10.1007/s11104-004-1158-7>

Kochian, L. V., Hoekenga, O. A., & Piñeros, M. A. (2004). How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. *Annual Review of Plant Biology*. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.55.031903.141655>

Kochian, L. V., Piñeros, M. A., Liu, J., & Magalhaes, J. V. (2015). Plant adaptation to acid soils: The molecular basis for crop aluminum resistance. *Annual Review of Plant Biology*, 66, 571–598. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-043014-114822>

Kochian, L. V., Piñeros, M. A., Liu, J., & Magalhaes, J. V. (2015). Plant adaptation to acid soils: The molecular basis for crop aluminum resistance. *Annual Review of Plant Biology*, 66, 571–598. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-043014-114822>

Kochian, L. V., Hoekenga, O. A., & Piñeros, M. A. (2004). How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. *Annual Review of Plant Biology*. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.55.031903.141655>

Klink, C. a., Klink, C. a., Machado, R. B., & Machado, R. B. (2005). A conservação do Cerrado brasileiro. *Megadiversidade*, 1, 147–155. <https://doi.org/10.1590/S0100-69912009000400001>

Khan, F., Siddique, A. B., Shabala, S., Zhou, M., & Zhao, C. (2023, August 1). Phosphorus Plays Key Roles in Regulating Plants' Physiological Responses to Abiotic Stresses. *Plants*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/plants12152861>

Lambers, H., de Britto Costa, P., Oliveira, R. S., & Silveira, F. A. O. (2020, September 1). Towards more sustainable cropping systems: lessons from native Cerrado species. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*. Springer. <https://doi.org/10.1007/s40626-020-00180-z>

Liu, C., Liu, W. S., van der Ent, A., Morel, J. L., Zheng, H. X., Wang, G. B., ... Qiu, R. L. (2021). Simultaneous hyperaccumulation of rare earth elements, manganese and aluminum in *Phytolacca americana* in response to soil properties. *Chemosphere*, 282. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131096>

Lopes, A. S., & Guimarães Guilherme, L. R. (2016). A career perspective on soil management in the Cerrado region of Brazil. In *Advances in Agronomy* (Vol. 137, pp. 1–72). Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2015.12.004>

Lorenzi, H. (1992). *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. Lorenzi, H (p. 352).

Ma, J. F., Taketa, S., & Yang, Z. M. (2000). Aluminum tolerance genes on the short arm of chromosome 3R are linked to organic acid release in triticale. *Plant Physiology*, 122(3), 687–694.

Magalhaes, J. V., Piñeros, M. A., Maciel, L. S., & Kochian, L. V. (2018, September 26). Emerging pleiotropic mechanisms underlying aluminum resistance and phosphorus acquisition on acidic soils. *Frontiers in Plant Science*. Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01420>

Marques, A. P. P. (2021). Alumínio: elemento benéfico ou essencial para a espécie de cerrado *Borreria latifolia* (Rubiaceae)? 2021. 87 f. Tese (Doutorado em Botânica) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2021.

Matsumoto, H., Hirasawa, E., Morimura, S., & Takahashi, E. (1976). Localization of aluminium in tea leaves. *Plant and Cell Physiology*, 17(3), 627–631. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a075318>

Mazorra, M. A., Jose, J. J. S., Montes, R., Miragaya, J. G., & Haridasan, M. (1987). Aluminium concentration in the biomass of native species of the Morichals (swamp palm community) at the Orinoco Llanos, Venezuela. *Plant and Soil*, 102(2), 275–277. <https://doi.org/10.1007/BF02370716>

Mendonça, A. M. das C., Lira, J. M. S., Vilela, A. L. de O., Vieira, D. A., de Melo, N. C., & Barbosa, J. P. R. A. D. (2020). High aluminum concentration and initial establishment of *Handroanthus impetiginosus*: clues about an Al non-resistant species in Brazilian Cerrado. *Journal of Forestry Research*, 31(6), 2075–2082. <https://doi.org/10.1007/s11676-019-01033-5>

Miatto, R. C., Wright, I. J., & Batalha, M. A. (2016). Relationships between soil nutrient status and nutrient-related leaf traits in Brazilian cerrado and seasonal forest communities. *Plant and Soil*, 404(1–2), 13–33. <https://doi.org/10.1007/s11104-016-2796-2>

Morzelle, M. C., Bachiega, P., Souza, E. C., Vilas Boas, E. V. B., Lamounier, M. L. (2015). Caracterização química e física de frutos de curriola, gabiroba e murici provenientes do Cerrado brasileiro. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 37(1), 96–103. <https://doi.org/10.1590/0100-2945-036/14>

Moustakas, M., Ouzounidou, G., & Lannoye, R. (1993). Rapid Screening for Aluminum Tolerance in Cereals by Use of the Chlorophyll Fluorescence Test. *Plant Breeding*, *111*(4), 343–346. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1993.tb00653.x>

Munns, D. N. (1965). Soil acidity and growth of a legume i interactions of lime with nitrogen and phosphate on growth of medicago sativa l and trifolium subterraneum l. *Australian Journal of Agricultural Research*, *16*(5), 733–741. <https://doi.org/10.1071/AR9650733>

Muhammad, N., Zvobgo, G., & Guo-ping, Z. H. A. N. G. (2018). A review: the beneficial effect of aluminum on plant growth in acid soil and the possible mechanisms. *Journal of Integrative Agriculture*, *17*, 60345-60347.

Myers, N., Mittermeyer, R. A., Mittermeyer, C. G., Da Fonseca, G. A. B., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, *403*(6772), 853–858. <https://doi.org/10.1038/35002501>

Neri, A. V., Schaefer, C. E. G. R., Silva, A. F., Souza, A. L., Ferreira-Junior, W. G., & Meira-Neto, J. A. A. (2012). The influence of soils on the floristic composition and community structure of an area of Brazilian Cerrado vegetation. *Edinburgh Journal of Botany*, *69*(1), 1–27. <https://doi.org/10.1017/S0960428611000382>

Neri-Numa, I. A., Soriano Sancho, R. A., Pereira, A. P. A., & Pastore, G. M. (2018, January 1). Small Brazilian wild fruits: Nutrients, bioactive compounds, health-promotion properties and commercial interest. *Food Research International*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.053>

Marques, T. C. L. L. de S. e M., Moreira, F. M. de S., & Siqueira, J. O. (2000). Crescimento e teor de metais de mudas de espécies arbóreas cultivadas em solo contaminado com metais pesados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, *35*(1), 121–132. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2000000100015>

Mossor-Pietraszewska, T. (2001). Effect of aluminium on plant growth and metabolism. *Acta Biochimica Polonica*. *Acta Biochimica Polonica*. https://doi.org/10.18388/abp.2001_3902

Nogueira, M. A., Bressan, A. C. G., Pinheiro, M. H. O., & Habermann, G. (2019). Aluminum-accumulating Vochysiaceae species growing on a calcareous soil in Brazil. *Plant and Soil*, *437*(1–2), 313–326. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-03978-2>

Ofoe, R., Thomas, R. H., Asiedu, S. K., Wang-Pruski, G., Fofana, B., & Abbey, Lord. (2023, January 13). Aluminum in plant: Benefits, toxicity and tolerance mechanisms. *Frontiers in Plant Science*. Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1085998>

Pereira, M. E., & Pasqualetto, A. (2011). Desenvolvimento sustentável com ênfase em frutíferas do Cerrado. *Estudos*, *38*(2), 333–363.

Rahman, M. A., Lee, S. H., Ji, H. C., Kabir, A. H., Jones, C. S., & Lee, K. W. (2018, October 8). Importance of mineral nutrition for mitigating aluminum toxicity in plants on acidic soils: Current status and opportunities. *International Journal of Molecular Sciences*. MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ijms19103073>

Raghothama, K. G., & Karthikeyan, A. S. (2005, July). Phosphate acquisition. *Plant and Soil*. <https://doi.org/10.1007/s11104-004-2005-6>

R Core Team. (2019). R: A language and environment for statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing*. Retrieved from <https://www.r-project.org/>

Ryan, P. R., & Delhaize, E. (2010). The convergent evolution of aluminium resistance in plants exploits a convenient currency. *Functional Plant Biology*, 37(4), 275–284. <https://doi.org/10.1071/FP09261>

Ribeiro, J. F., & Walter, B. M. T. (2001). As matas de galeria no contexto do bioma Cerrado. *Cerrado: Caracterização e Recuperação de Matas de Galeria*, (January 2001), 29–47.

Ribeiro, J. F., & Walter, B. M. T. (2008). As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In S. M. Sano, Semíramis P. de Almeida, & José F. Ribeiro (Eds.), *Cerrado: Ecologia e flora* (v. 1, pp. 152–212). Embrapa Cerrados.

Ribeiro, J. F., & Walter, B. M. T. (2008). As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In S. M. Sano, Semíramis P. de Almeida, & José F. Ribeiro (Eds.), *Cerrado: Ecologia e flora* (v. 1, pp. 152–212). Embrapa Cerrados.

Robinson, W. O., & Edgington, G. (1945). Minor elements in plants, and some accumulator plants. *Soil Science*, 60(1), 15–28. <https://doi.org/10.1097/00010694-194507000-00003>

Sannomiya, M., Rodrigues, C. M., Coelho, R. G., Dos Santos, L. C., Hiruma-Lima, C. A., Souza Brito, A. R. M., & Vilegas, W. (2004). Application of preparative high-speed counter-current chromatography for the separation of flavonoids from the leaves of *Byrsonima crassa* Niedenzu (IK). *Journal of Chromatography A*, 1035(1), 47–51. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2004.02.050>

Sade, H., Meriga, B., Surapu, V., Gadi, J., Sunita, M. S. L., Suravajhala, P., & Kavi Kishor, P. B. (2016). Toxicity and tolerance of aluminum in plants: tailoring plants to suit to acid soils. *Biometals*, 29(2), 187-210. Coutinho

Schwaida, S. F., Cicerelli, R. E., de Almeida, T., Sano, E. E., Pires, C. H., & Ramos, A. P. M. (2023). Defining priorities areas for biodiversity conservation and trading forest certificates in the Cerrado biome in Brazil. *Biodiversity and Conservation*, 32(6), 1807–1820. <https://doi.org/10.1007/s10531-023-02578-y>

Strassburg, B. B. N., Brooks, T., Feltran-Barbieri, R., Iribarrem, A., Crouzeilles, R., Loyola, R., ... Balmford, A. (2017, March 23). Moment of truth for the Cerrado hotspot. *Nature Ecology and Evolution*. Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0099>

Silva Júnior, M. C. da. (2012). *100 Árvores do Cerrado: cerrado sentido restrito. Guia de campo. Rede de Sementes do Cerrado* (p. 360).

Silva, P. O. da, Balestra, C. L., Soares, M. P., & Menino, G. C. de O. (2016). Estratégias fenológicas de *Byrsonima basiloba* em Rio Verde, Goiás, Brasil. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 36(87), 289. <https://doi.org/10.4336/2016.pfb.36.87.989>

Silva, L. M. D. (2007). Crescimento radicular e absorção de nutrientes de cultivares de arroz submetidos ao alumínio em solução nutritiva.

Silva, G. S., Rodrigues, J. S., Carvalho, B. M. D. O., Gavassi, M. A., Bressan, A. C. G., & Habermann, G. (2023). Absence of aluminium compromises root integrity, reduces leaf hydration and Rubisco performance in *Qualea grandiflora*, an Al-accumulating species. *Plant Biology*, 25(5), 740–749. <https://doi.org/10.1111/plb.13535>

Singh, S., Tripathi, D. K., Singh, S., Sharma, S., Dubey, N. K., Chauhan, D. K., & Vaculík, M. (2017, May 1). Toxicity of aluminium on various levels of plant cells and organism: A review. *Environmental and Experimental Botany*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.01.005>

Souza, M. C., Bueno, P. C. P., Morellato, L. P. C., & Habermann, G. (2015). Ecological strategies of Al-accumulating and non-accumulating functional groups from the Cerrado sensu Stricto. *Anais Da Academia Brasileira de Ciencias*, 87(2), 813–823. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201520140222>

Souza, M. C., Habermann, G., do Amaral, C. L., Rosa, A. L., Pinheiro, M. H. O., & Da Costa, F. B. (2017). *Vochysia tucanorum* Mart.: an aluminum-accumulating species evidencing calcifuge behavior. *Plant and Soil*, 419(1–2), 377–389. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3355-1>

Schmitt, M., Boras, S., Tjoa, A., Watanabe, T., & Jansen, S. (2016). Aluminium Accumulation and intra-tree distribution patterns in three *Arbor aluminosa* (*Symplocos*) species from Central Sulawesi. *PLoS ONE*, 11(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0149078>

Sun, L., Zhang, M., Liu, X., Mao, Q., Shi, C., Kochian, L. V., & Liao, H. (2020). Aluminium is essential for root growth and development of tea plants (*Camellia sinensis*). *Journal of Integrative Plant Biology*, 62(7), 984–997. <https://doi.org/10.1111/jipb.12942>

Teixeira, W. F. (2013). Fisiologia e bioquímica de plantas da família Melastomataceae, Estação Ecológica do Panga, Uberlândia, MG.

Timpone, L. T., & Habermann, G. (2022). Is aluminum (Al) eliminated by senescent structures of *Miconia albicans*, an Al-accumulating species from Brazilian savanna? *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 289. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2022.152036>

Wang, Y., Stass, A., & Horst, W. J. (2004). Apoplastic binding of aluminum is involved in silicon-induced amelioration of aluminum toxicity in maize. *Plant Physiology*, 136(3), 3762–3770. <https://doi.org/10.1104/pp.104.045005>

Watanabe, T., & Osaki, M. (2002). Mechanisms of adaptation to high aluminum condition in native plant species growing in acid soils: A review. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 33(7–8), 1247–1260. <https://doi.org/10.1081/CSS-120003885>

Wright, R. J. (1989). Soil aluminum toxicity and plant growth. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 20(15–16), 1479–1497. <https://doi.org/10.1080/00103628909368163>

Yang, Z.-B., & Horst, W. J. (2015). Aluminum-Induced Inhibition of Root Growth: Roles of Cell Wall Assembly, Structure, and Function (pp. 253–274). https://doi.org/10.1007/978-3-319-19968-9_13

Zaia, M., Timpone, L. T., & Habermann, G. (2022). Do aluminum (Al)-accumulating species from the Brazilian savanna accumulate Al in the roots? *Trees - Structure and Function*, 36(5), 1677–1685. <https://doi.org/10.1007/s00468-022-02301-4>

Zhao, X. Q., Chen, R. F., & Shen, R. F. (2014). Coadaptation of plants to multiple stresses in acidic soils. *Soil Science*, 179(10–11), 503–513. <https://doi.org/10.1097/SS.0000000000000086>