

**ARQUITETURA AÉREA DE *Lychnophora Salicifolia* Mart. E TESTE DE
RAIOS X NO DESEMPENHO GERMINATIVO**

Renata da Silva Pacheco

**Montes Claros - MG
Abril - 2024**

Renata da Silva Pacheco

**ARQUITETURA AÉREA DE *Lychnophora Salicifolia* Mart. E TESTE DE
RAIOS X NO DESEMPENHO GERMINATIVO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros como parte das exigências do Curso de Mestrado Acadêmico em Botânica Aplicada, área de concentração em Botânica Aplicada para a obtenção do título de Mestre.

Orientador(a): Prof. Dra. Claudinéia Ferreira Nunes

Coorientador(a): Prof. Dra. Rúbia dos Santos Fonseca

Montes Claros - MG
Abril - 2024

- P116a Pacheco, Renata da Silva.
Arquitetura aérea de *Lychnophora Salicifolia* Mart. e teste de Raio X no desempenho germinativo [manuscrito] / Renata da Silva Pacheco – Montes Claros, 2024.
61f. : il.
- Inclui bibliografia.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Montes Claros - Unimontes, Programa de Pós-Graduação em Botânica Aplicada /PPGBOT, 2024.
- Orientadora: Profa. Dra. Claudinéia Ferreira Nunes.
Coorientadora: Profa. Dra. Rúbia dos Santos Fonseca.
1. Arnica. 2. Asteraceae. 3. Plasticidade fenotípica. 4. Imagem radiográfica. 5. Germinação. I. Nunes, Claudinéia Ferreira. II. Fonseca, Rúbia dos Santos. III. Universidade Estadual de Montes. III. Título.

Catálogo: Biblioteca Central Professor Antônio Jorge

Renata da Silva Pacheco

**ARQUITETURA AÉREA DE *Lychnophora Salicifolia* Mart. E TESTE DE
RAIOS X NO DESEMPENHO GERMINATIVO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros como parte das exigências do Curso de Mestrado Acadêmico em Botânica Aplicada, área de concentração em Botânica Aplicada para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 29 de abril de 2024.

**Profa. Dra. Claudinéia Ferreira Nunes - UFMG
Prof. Dra. Nermy Ribeiro Valadares - UFMG
Profa. Dra. Elka Fabiana Aparecida Almeida –UFMG**



Orientadora: Claudinéia Ferreira Nunes

**Montes Claros - MG
Abril - 2024**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecer a mim mesma, pela minha coragem e por não ter desistido! Cursar um mestrado a uma distância de 850 km, Montes Claros x Rio de Janeiro, logo após pandemia, não foi uma tarefa fácil. Por diversos momentos pensei em não ser capaz de conciliar os estudos, trabalho, família e ser dona de casa sozinha. Isso tudo, após 18 anos da minha formação em Biologia. Foi necessária muita força de vontade para vencer e me desafiar. Afinal sempre fui movida a desafios! Obrigada Deus, minha luz que me guia!

Agradeço profundamente o apoio incondicional da minha família e namorado ao longo deste período de pesquisa, cujo amor, incentivo e sacrifícios tornaram possível minha jornada acadêmica.

À amiga Araci por me indicar o PPGBOT. À minha querida amiga Cinthia, por seu apoio inabalável, palavras de encorajamento e por estar sempre presente nos momentos decisivos. Sua amizade é um tesouro inestimável que valorizo profundamente. Ao amigo Helton, meu agradecimento pela paciência e ajuda com o Google Earth para elaboração dos mapas e dados da área de estudo.

À Minha amiga Juliana, única amiga na área de botânica, desde nossa formação em Biologia, que muito me ajudou no estágio supervisionado. Seu apoio foi essencial para superar os desafios e alcançar meus objetivos.

Às amigas que fiz no PPGBOT, Michelly e Andréia que juntas enfrentamos os desafios dos trabalhos em grupo nas disciplinas, obrigada pelos momentos de desesperos e alegrias.

Agradeço imensamente à minha orientadora, profa. Claudinéia, pela sua orientação cuidadosa, conhecimento e constante encorajamento. Sua dedicação e comprometimento foram fundamentais para o sucesso deste trabalho. Tivemos que nos reinventar e improvisar por diversas vezes. Reconheço principalmente o seu esforço para fazer acontecer os trabalhos de campo e por fim todo o seu apoio e amizade, que gostaria de levar para a vida.

Não posso deixar de mencionar a colaboração dos colegas de laboratório, Enzo e Victor, que contribuíram para as atividades de coleta de campo na maior boa vontade do mundo e deixaram os dias quentes de Cerrado mais animados. À Krystal pela concessão para que eu desse continuidade aos estudos que ela iniciou. Outro agradecimento especial vai para os motoristas do ICA da UFMG: Nivaldo, Denilson e Edmar, que nos conduziram até as áreas de campo. A paciência e cooperação de vocês foram essenciais para a realização deste estudo.

Agradeço às parcerias dos Laboratórios de Análise de Solos, do Instituto de Ciências Agrárias da UFMG, pela contribuição com os dados de análise de solo e ao Laboratório de Análise de Sementes da Universidade Federal de Viçosa pela realização dos testes de Raios X.

Aos professores, Rúbia, Elka, Leandro e Nermy por terem contribuído com seus ensinamentos, sugestões e orientações no decorrer destes 2 anos de planejamento, para que o trabalho fluísse.

Por fim, agradeço ao PPGBOT pela oportunidade de me tornar mestre e a todos que de alguma forma contribuíram para esta jornada, direta ou indiretamente. Todas essas energias foram fundamentais para minha realização pessoal e acadêmica.

RESUMO GERAL

ARQUITETURA AÉREA DE *Lychnophora Salicifolia* Mart. E TESTE DE RAIOS X NO DESEMPENHO GERMINATIVO

A espécie *Lychnophora salicifolia* Mart., popularmente conhecida como arnicão, é uma espécie nativa do Brasil, com potencial paisagístico, importância ecológica e medicinal. O objetivo geral deste estudo é utilizar o teste de raios X para investigar a morfologia interna das cipselas de *Lychnophora salicifolia* e avaliar sua relação com o desempenho germinativo, enquanto também se propõe a analisar a arquitetura aérea das populações desta espécie em duas regiões de Cerrado do município de Montes Claros- Minas Gerais, fornecendo uma compreensão destas plantas em seu ambiente natural. As cipselas foram analisadas por meio de testes raios X, onde foram realizadas oito repetições de 25 cipselas, para quatro lotes, a fim de gerar imagens das sementes e correlacionar com o teste de germinação. As cipselas cheias que não germinaram foram submetidas ao teste de tetrazólio para verificação da viabilidade. Identificou-se que nem todas cipselas cheias germinaram, mas apresentaram viabilidade pelo teste de tetrazólio. Em relação a arquitetura aérea, foram avaliadas 120 plantas, onde constatou-se que os atributos do solo que mais diferiram entre as duas regiões foram: K, Ca, Mg. Outros fatores, pouco variaram. Quanto às diferenças na arquitetura aérea das plantas avaliadas, nessas duas localidades, *L. salicifolia* mostrou-se altamente polimórfica com variações arquitetônicas mais evidentes em parâmetros como: altura máxima, altura do ramo principal e diâmetro do ramo principal. O estudo demonstrou eficiência na relação do uso do teste de raios X com a germinação das cipselas radiografadas e classificadas como cheias, além de mostrar diferenças morfométricas na arquitetura aérea entre as duas localidades, apesar da proximidade entre elas. Dado o alto grau de plasticidade fenotípica e resistência a ambientes pobres em nutrientes, necessita-se de estudos mais aprofundados sobre a biologia de *L. salicifolia*, a fim de entender por que cipselas cheias e viáveis nem sempre germinam.

Palavras-chave: Plantas nativas, Arnica, Asteraceae, Plasticidade fenotípica.

ABSTRACT

AERIAL ARCHITECTURE OF *Lychnophora Salicifolia* Mart. AND X-RAY TEST ON GERMINATION PERFORMANCE

The species *Lychnophora salicifolia* Mart., popularly known as arnicão, was selected to carry out this study, for being a native species from Brazil, with landscape potential, ecological and medicinal importance. The general objective of this study is to use the X-ray test to investigate the internal morphology of *Lychnophora salicifolia* achenes and evaluate its relationship with germination performance, while it also proposes to analyze the aerial architecture of populations of this species in two regions of Cerrado in the municipality of Montes Claros, Minas Gerais, providing an understanding of these plants in their natural environment. The achenes were analyzed using X-ray tests, where eight repetitions of 25 achenes were carried out, for four batches, to generate images of the seeds and correlate with the germination test. The full achenes that did not germinate were subjected to the tetrazolium test to verify viability. It was identified that not all full achenes germinated, but they showed viability by the tetrazolium test. Regarding aerial architecture, 120 plants were evaluated, where it was found that the soil attributes that differed most between the two regions were: K, Ca, Mg. Other factors varied little. Regarding the differences in the aerial architecture of the plants evaluated, in these two locations, *L. salicifolia* proved to be highly polymorphic with more evident architectural variations in parameters such as: maximum height, height of the main branch and diameter of the main branch. The study demonstrated efficiency in the relationship between the use of the X-ray test and the germination of x-rayed achenes classified as full, in addition to showing morphometric differences in the aerial architecture between the two locations, despite the proximity between them. Given the high degree of phenotypic plasticity and resistance to nutrient-poor environments, more in-depth studies on the biology of *L. salicifolia* are needed to understand why full and viable cypselaes do not always germinate.

Key words: Native plants, Arnica, Asteraceae, Phenotypic plasticity.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	9
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	11
CAPÍTULO 1	12
RESUMO	13
ABSTRACT.....	14
INTRODUÇÃO	15
MATERIAL E MÉTODOS	16
RESULTADOS.....	19
DISCUSSÃO	21
CONCLUSÃO	24
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24
CAPÍTULO 2	26
RESUMO	27
ABSTRACT.....	28
INTRODUÇÃO	29
MATERIAL E MÉTODOS	31
RESULTADOS.....	34
DISCUSSÃO	44
CONCLUSÃO	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
CONCLUSÃO GERAL	50
ANEXO 1	51
ANEXO 2	61

INTRODUÇÃO GERAL

Ao estudar espécies nativas, podemos contribuir para desempenhar um papel fundamental para a conservação e preservação da biodiversidade local, contribuir para o desenvolvimento sustentável e entender melhor sua importância ecológica, além de promover a conservação de habitats naturais (MMA. 2022). A aplicação de estudos com análises de imagem, como a técnica de raios X e o conhecimento de arquitetura aérea da planta, são métodos que podem contribuir para a elucidação desses aspectos.

O avanço da tecnologia computacional na década de 80, associada à técnica de raios X, criada por Simak e Gustafsson, (1953), passou a ser uma ferramenta eficaz para análise de sementes, aceita pela Associação Internacional de Teste de Sementes (ISTA) (Amaral et al. 2011) por ser um teste fácil, eficiente e com rápida aplicabilidade para estudos morfológicos e fisiológicos. Essas técnicas são amplamente utilizadas em pesquisas de sementes para estudar sua morfologia, estrutura interna e viabilidade, fornecendo informações valiosas para melhorar a qualidade das sementes e otimizar as práticas agrícolas de forma não destrutiva (Medeiros et al. 2021). Nesta técnica, as sementes são expostas aos raios X, permitindo gerar imagens para visualizar embrião, endosperma, casca, contaminações e possíveis defeitos ou danos da semente, que podem influenciar o resultado da germinação futuramente.

A análise arquitetônica, também é outra técnica, que tem se mostrado um dos meios mais eficientes atualmente disponíveis para o estudo da organização de plantas complexas e resulta da combinação entre o controle genético e as condições ambientais (Barthélémy & Caraglio, 2007). É uma abordagem global, multinível e dinâmica para o entendimento e conhecimento do desenvolvimento de uma planta. Investigar como a arquitetura aérea das plantas é influenciada, se concentra na análise da forma, estrutura e padrões de crescimento das partes da planta que se situam acima do solo, incluindo examinar características como a disposição das folhas ao longo dos caules, a ramificação dos ramos e a forma das estruturas reprodutivas.

A espécie *Lychnophora salicifolia* Mart., popularmente conhecida como arnicão, foi selecionada para a realização deste estudo, por ser nativa do Brasil, com grande importância ecológica, ornamental, além de estar incluída na lista de espécies aromáticas e medicinais do Cerrado com alta prioridade para coleção de germoplasma e conservação (Vieira, 1999).

A exploração extrativista de arnica em seu habitat natural pode levar espécies do gênero à extinção (Melo, et. al. 2009), por isso, é importante a construção de conhecimentos sobre

aspectos relacionados a esta espécie, ainda pouco conhecida. Diante do exposto, estudos capazes de elucidar aspectos relacionados à diferenciação das estruturas internas do fruto, as cipselas, que conduzam a uma melhor interpretação e compreensão do seu crescimento, desenvolvimento e estabelecimento da planta, são de extrema importância.

Neste sentido, o presente trabalho consiste em uma Introdução Geral para contextualização da proposta do trabalho, seguida de dois capítulos em forma de artigo, para atender o objetivo geral deste estudo, que foi associar as técnicas de análises de arquitetura aérea e teste de raios X, a fim de avaliar o desempenho germinativo de *Lychnophora salicifolia* mart. Os artigos serão submetidos à revista “Brazilian Journal of Botany” e foram formatados de acordo com as normas que seguem em anexo (1).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, J. B.; MARTINS I.; FORTI, V. A.; CÍCERO, S. M.; MARCOS FILHO, J. 2011. Teste de raios X para a avaliação do potencial fisiológico de sementes de ipê-roxo. Revista Brasileira de Sementes, Londrina, v. 33, n. 4, p. 601-607.

BARTHÉLÉMY D, CARAGLIO Y. Plant architecture: a dynamic, multilevel and comprehensive approach to plant form, structure and ontogeny. 2007. Ann Bot. 2007 Mar;99(3):375-407. doi: 10.1093/aob/mcl260. Epub 2007 Jan 11. PMID: 17218346; PMCID: PMC2802949.

SIMAK, M.; GUSTAFSSON, A. 1953. X-ray photography and sensitivity in forest tree species. Hereditas, v. 39, n. 3/4, p.458-468.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-biomas/ecossistemas/biomas/cerrado>. Acesso em: 18 jun. 2022.

MEDEIROS A. D. de; BERNARDES, R. C.; SILVA L. J. da; FREITAS, B. A. L. de; DIAS, D. C. F. dos Santos; SILVA, C. B. da. 2021. Deep learning-based approach using X-ray images for classifying *Crambe abyssinica* seed quality. Industrial Crops and Products, v. 164. doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113378>.

MELO, L. Q., CIAMPI, A. Y., & VIEIRA, R. F. 2009. Análise da variabilidade genética de arnica (*Lychnophora ericoides* Less.-Asteraceae) usando marcadores RAPDs. Acta Botanica Brasilica, 23, 259-266.

CAPÍTULO 1

Artigo formatado de acordo com a Revista Brazilian Journal of Botany

Teste raios X e a relação com o desempenho germinativo das cipselas radiografadas de *Lychnophora salicifolia* Mart.

Renata da Silva Pacheco, Claudinéia Ferreira Nunes e Rúbia dos Santos Fonseca

Montes Claros - MG

Abril – 2024

Resumo

Lychnophora salicifolia Mart., conhecida como arnicão, é uma espécie nativa do Cerrado brasileiro, com potencial ornamental, medicinal e ecológico. Este estudo teve como objetivo utilizar o teste de raios X para visualizar a morfologia interna de cipselas de *L. salicifolia* e avaliar sua relação com o desempenho germinativo. Quatro lotes de cipselas foram coletados na comunidade rural de Lagoa de Freitas, em Montes Claros, Minas Gerais, Brasil. Cada lote foi submetido a oito repetições de 25 cipselas. Para a análise de raios X, utilizou-se o aparelho Faxitron MX-20, para gerar imagens das cipselas à radiação. A viabilidade das cipselas foi classificada como cheia, vazia ou malformada, com base na presença de sementes no interior. O teste de germinação foi realizado em caixas gerbox, com papel germitest, em câmara de germinação BOD a 25°C, sob fotoperíodo de 12 horas. As cipselas cheias que não germinaram foram submetidas ao teste de tetrazólio, para verificar a viabilidade e compreender a biologia reprodutiva da espécie. Os resultados mostraram que cipselas identificadas como cheias pelo teste de raios X germinaram, mas algumas remanescentes, embora não tenham germinado, apresentaram viabilidade pelo teste de tetrazólio. O estudo demonstrou a eficiência do teste de raios X na relação com a germinação das cipselas radiografadas e classificadas como cheias. No entanto, são necessários mais estudos para compreender por que algumas cipselas cheias e viáveis não germinam.

Palavras-chave: Imagem radiográfica, Arnica, Cerrado, Germinação

Abstract

Lychnophora salicifolia Mart., known as "arnicão," is a native species of the Brazilian Cerrado, with ornamental, medicinal, and ecological potential. This study aimed to use X-ray testing to visualize the internal morphology of *L. salicifolia* achenes and evaluate their relationship with germination performance. Four batches of achenes were collected in the rural community of Lagoa de Freitas, in Montes Claros, Minas Gerais, Brazil. Each batch underwent eight repetitions of 25 achenes. For X-ray analysis, the Faxitron MX-20 device was used to generate images of the achenes under radiation. The viability of the achenes was classified as full, empty, or malformed based on the presence of seeds inside. The germination test was performed in gerbox containers, using germitest paper, in a BOD germination chamber at 25°C, under a 12-hour photoperiod. Full achenes that did not germinate were subjected to the tetrazolium test to verify viability and understand the reproductive biology of the species. The results showed that achenes identified as full by the X-ray test germinated, but some remaining ones, although they did not germinate, showed viability by the tetrazolium test. The study demonstrated the efficiency of the X-ray test in relation to the germination of radiographed and classified full achenes. However, further studies are needed to understand why some full and viable achenes do not germinate.

Keywords: Radiographic image, Arnica, Cerrado, Germination

Introdução

A família Asteraceae é uma das maiores famílias de plantas, sendo considerada como a família de maior importância entre as fanerógamas (Roque & Bautista 2008), por sua diversidade e adaptação a diferentes ambientes. O gênero *Lychnophora* compreende plantas popularmente conhecidas como arnicas, composto por espécies predominantemente nativas do Brasil (Gobbo-Neto et al. 2017; Vieira et al. 2019). Além disso, as espécies de *Lychnophora* são frequentemente estudadas por suas propriedades químicas e com potencial para uso medicinal (Gobbo-Neto et al. 2017; Vieira et al. 2019). Também tem sido estudada para fins ornamentais, por apresentar flores que podem exibir uma variedade de cores, a depender da espécie, incluindo tons de branco, amarelo, roxo ou rosa (Semir 2011). Além disso, a arquitetura da planta, a cor e a disposição das flores contribuem para a valorização dos atributos ornamentais do gênero *Lychnophora*.

A dispersão das sementes é um aspecto crucial na biologia reprodutiva das plantas do gênero *Lychnophora*, as chamadas cipselas, que são frutos secos, indeiscentes, onde a parede do fruto não se abre livremente na maturidade e que contém uma única semente (monospermicos). As cipselas desempenham um papel fundamental no processo para a colonização de novas áreas (Marzinek et al. 2008), no entanto, revelam uma certa complexidade anatômica no seu interior, seja quanto a distribuição de tecidos embrionários, ou ausência destes. De fato, é relevante a busca por estratégias eficientes para fins de compreensão dos processos fundamentais relacionados à reprodução e adaptação das plantas do gênero *Lychnophora*, visando estabelecer uma relação de causa e efeito entre um possível menor desempenho germinativo com a estrutura interna das cipselas.

Lychnophora salicifolia Mart. é a espécie de maior distribuição geográfica do gênero, ocorrendo nas serras da Bahia, Minas Gerais e Goiás, sendo também a mais polimórfica (Semir 2011). A análise detalhada de cipselas de *L. salicifolia*, exige um maior conhecimento sobre essa estrutura para fins assertivos de germinação, o que pode ser realizada por meio de técnicas avançadas de análise de sementes, como imagens por raios X. Essas técnicas desempenham um papel crucial na avaliação da morfologia interna de estruturas biológicas sem comprometer sua integridade.

A principal vantagem da técnica de raios X, reside na sua capacidade de penetrar em materiais densos, como tecidos vegetais, permitindo a obtenção de imagens detalhadas do

interior das estruturas biológicas sem danificar sua integridade estrutural (Noronha et al. 2018). Ao realizar a análise de imagens por raios X em cipselas, é possível identificar características específicas que são fundamentais para compreender aspectos como a dispersão de sementes, o desenvolvimento embrionário e a adaptação da planta ao ambiente circundante. A técnica também é valiosa na identificação de eventuais anormalidades ou variações na morfologia interna das cipselas (Melo et al. 2009), o que pode ter implicações importantes para a biologia da reprodução dessas plantas. A germinação pode não ser eficiente por diversos fatores como: baixa viabilidade de cipselas (Souza et al. 2007), que se apresentam em sua maioria vazias ou malformadas, assincronia na maturação da semente (Lopes 2008; Melo et al. 2014), elevada taxa de contaminação (Pereira et al. 2005) e alta deterioração por ataques de insetos e larvas (Lopes 2008).

Diante do exposto, o objetivo do presente estudo foi utilizar o teste de raios X para visualizar a morfologia interna de cipselas de *Lychnophora salicifolia* e verificar a sua relação com o desempenho germinativo.

Material e métodos

Área de Estudo

A coleta das inflorescências de *Lychnophora salicifolia* (Cadastro SisGen nº A0F0755) foi realizada com base no agrupamento das populações, dispostas ao longo da área de estudo: (Lote 1) 1652'35.6"S 4409'28.9"W; (Lote 2) 1652'39.4"S 4409'18.5"W; (Lote 3) 1652'39.9"S 4409'18.0"W" e (Lote 4) 1652'41.6"S 4409'10.7"W) na comunidade rural de Lagoa de Freitas, distante cerca de 40 km de Montes Claros, Minas Gerais, Brasil, coordenadas 16°52'43.0"S 44°09'10.1"W, em Fevereiro de 2021, com altitude de 946 m, sendo a área classificada "Cerrado stricto sensu", com presença de arvoretas, arbustos espaçados e solo pedregoso. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen é definido como clima tropical e com temperatura média anual de 22.7 °C (Climate-Data.Org 2022).

Após a coleta, as inflorescências foram conduzidas ao laboratório de Melhoramento Florestal no Instituto de Ciências Agrárias – ICA da UFMG, localizado em Montes Claros – MG. Em seguida foram triadas, retirando os restos de inflorescência, frutos aparentemente danificados ou atacados por insetos e posteriormente acomodadas em sacos de papel e armazenadas em temperatura ambiente por cerca de 60 dias até a implantação dos experimentos.

Teste de raios X

O teste de raios X para análise da morfologia interna das cipselas de *Lychnophora salicifolia* foi conduzido no Laboratório de Análise de Sementes da Universidade Federal de Viçosa, na cidade de Viçosa, MG. As imagens radiográficas foram geradas por um aparelho Faxitron MX-20 (Faxitron X-ray Corp. Wheeling, IL, EUA) conectado a um computador e monitor. O equipamento foi configurado a 26 kV, e as cipselas foram expostas à radiação por 12,9 segundos. O contraste da imagem foi calibrado para 16.383 (largura) × 4849 (centro). Foram utilizadas oito repetições de 25 cipselas para cada lote, retiradas ao acaso e fixadas de forma ordenada em placas de acrílico (21x15 cm) com fita transparente dupla face, devidamente identificadas com o número do lote, repetição e posição de cada cipselas, para permitir a identificação individual em análises posteriores.

O teste de raios X gerou radiografias digitais, que foram analisadas visualmente para classificação quanto a morfologia interna da cavidade embrionária das cipselas. Foram consideradas cipselas cheias, aquelas em que se observava a semente preenchendo totalmente a cavidade embrionária, cipselas malformadas quando apresentavam estrutura rudimentar de semente e vazias, as que não apresentavam nenhum vestígio de semente (ISTA 2008). As variáveis densidade relativa, densidade integrada e mediana de cinza, são calculadas a partir de valores da cor cinza de cada pixel da imagem que tem relação direta com a resistência dos tecidos internos à passagem dos raios X, por isso, quanto maior a intensidade de cinza, indica tecidos mais densos, ou seja, maior resistência, o que confere maior nível de radiopacidade na radiografia da semente (Kotwaliwale et al. 2014), correlacionando com a sua presença.

Teste de germinação

Após o teste de raios X, as cipselas foram submetidas ao teste de germinação no Laboratório de Sementes do Instituto de Ciências Agrárias – ICA da UFMG, localizado em Montes Claros – MG. Foi mantida a disposição e posicionamento das cipselas originalmente utilizadas no teste de raios X. Para a realização do teste, as cipselas foram distribuídas em caixas acrílicas do tipo “gerbox” com duas folhas de papel “Germitest” autoclavado e previamente umedecido com água destilada autoclavada, na proporção de duas vezes o peso seco do papel. O material foi mantido em câmara de germinação tipo BOD, à temperatura de 25°C e fotoperíodo de 12 horas. Foram utilizadas as mesmas repetições do teste de raios X, oito

repetições de 25 cipselas para cada lote. A contagem de cipselas germinadas foi realizada diariamente, até a primeira germinação, passando para avaliação semanal, com término após 70 dias da implantação. A avaliação semanal foi definida com base em teste prévio de estabilização da germinação.

As cipselas foram classificadas como germinadas, adotando o critério de emissão da raiz primária ou não germinadas quando se mantiveram intactas. As plântulas geradas foram classificadas como normais (aquelas que apresentaram todas as estruturas essenciais bem desenvolvidas) e anormais (plântulas pouco desenvolvidas ou com defeitos graves). Os resultados do teste de germinação foram interpretados de acordo com as classes resultantes do teste de raios X (cheias, malformadas e vazias). Decorrido o período do teste de germinação, foram retiradas todas as cipselas remanescentes, classificadas como cheias, de acordo com o teste de raios X, mas que não germinaram. Para fins de entendimento da biologia reprodutiva da espécie, utilizou-se o teste do tetrazólio para avaliar a viabilidade destas cipselas. Estas, foram seccionadas transversalmente com o auxílio de bisturi e imersas em solução de sal de tetrazólio (2,3,5 trifenil cloreto de tetrazólio) a 0,5%, por 24 horas, a 30°C e no escuro, de acordo com metodologia de Melo et al. (2009). Após esse período e desenvolvida a coloração vermelha, as cipselas foram lavadas em água corrente e examinadas individualmente sob microscópio estereoscópico para a determinação da viabilidade de acordo com a metodologia de Regras para Análise de Sementes (RAS) para Asteraceae (MAPA 2009).

Análises estatísticas

Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado, sendo cada lote, uma área de coleta, oito repetições e 25 cipselas por repetição, totalizando 200 cipselas por tratamento. Todas as análises foram realizadas no software R. A fim de caracterizar os lotes e compreender melhor a associação das variáveis com a avaliação visual, os dados foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste F ($p \leq 5\%$). Para isso foi utilizado o pacote ExpDes.pt. Foram estimadas as correlações de Pearson entre as variáveis avaliadas. Para a melhor apresentação destas estimativas, foi construído a rede de correlação, apresentando apenas as significativas pelo teste F ($p \leq 5\%$) com o auxílio do pacote qqgraph.

Resultados

Os lotes aqui avaliados não apresentaram diferença significativa entre si (Tabela 1) quanto ao teste de germinação, indicando que, em todos os lotes houve um elevado número de cipselas vazias, característica comum e já esperada para o gênero *Lychnophora*.

A germinação de *Lychnophora salicifolia* teve início no 13º dia, com duração de 3 dias entre protrusão de radícula e surgimento de folhas definitivas, não havendo também diferença significativa entre os lotes analisados. Todos os lotes apresentaram baixa taxa de germinação (Fig. 1), com maior média registrada no lote três (4,11%) e menor no lote quatro, com apenas 0,5% de cipselas germinadas (Tabela 1). Quanto ao tempo de germinação também não houve diferença significativa entre os lotes, variando de 27 a 55 dias (Tabela 1).

Tabela 1. Valores médios de cipselas cheias, vazias e malformadas; Porcentagem de germinação (%); Tempo de germinação (dias) e porcentagem de cipselas viáveis pelo teste de tetrazólio, para cipselas de *Lychnophora salicifolia* separadas em lotes, com base no agrupamento das populações na área de estudo.

Lotes	C ^{ns}	V ^{ns}	MF ^{ns}	% Germinação ^{ns}	Dias para a germinação ^{ns}	% V (Tetrazólio) ^{ns}
1	4,08	91,31	4,61	3.58	30.34	52.78
2	9,29	84,08	6,62	2.52	27.00	45.00
3	12,54	84,44	3,02	4.11	31.54	60.71
4	6,78	89,13	4,08	0.50	55.00	41.67

* ^{ns} Não significativo pelo teste F

Em que: C= Cipselas cheias; V= Cipselas vazias; MF= Cipselas malformadas.

Conforme a classificação morfológica da cipsela pelo teste dos raios X, apenas a categoria de cipselas cheias apresentou germinação e conforme o esperado não houve nenhuma germinação nas categorias malformadas e vazias (Tabela 1). Após o desenvolvimento pós-seminal, fase inicial de crescimento de uma planta a partir da germinação da semente, todas as plântulas foram consideradas normais, com a presença das estruturas primárias bem desenvolvidas, sendo possível visualizar um par de folhas cotiledonares, raiz primária e hipocótilo (Fig. 1). Plântulas anormais, caracterizadas com ausência de estrutura primária ou estrutura atrofiada, não foram observadas nos lotes testados.

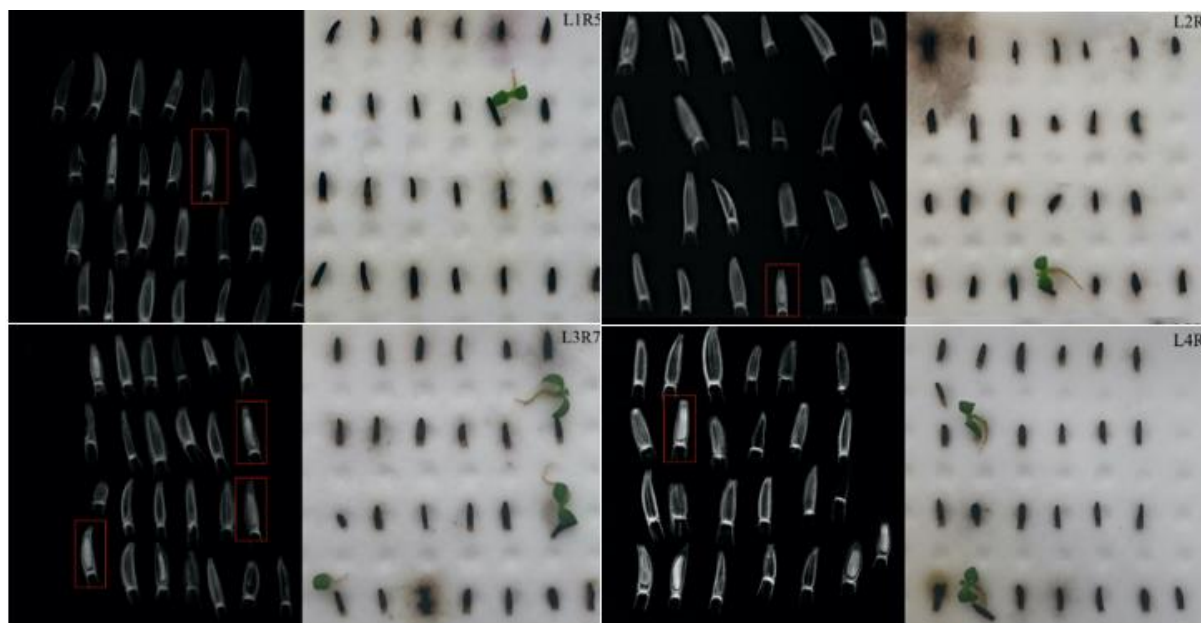


Fig. 1 Comparação da análise do teste de germinação com as imagens radiografadas pelo teste raios X.

Nas cipselas remanescentes do teste de germinação, que não germinaram, mas foram consideradas cheias pelo teste de raios X, após analisadas pelo teste de tetrazólio, foi possível observar o padrão de coloração avermelhada, que indica viabilidade. Seguindo a mesma tendência do teste de germinação não houve diferença significativa entre a viabilidade dos lotes (Tabela 1), sendo o lote três, apresentando maior percentual com 60,17% das cipselas possivelmente viáveis e o lote quatro, menor percentual com 41,67% de cipselas possivelmente viáveis.

Através da avaliação da correlação das variáveis morfométricas, em relação as categorias cheias, malformadas e vazias com a germinação, considerando que a germinação tem alta correlação positiva com a categoria de cipselas cheias e com a densidade tecidual mediana de cinza, foi demonstrada a eficiência da análise das imagens, na separação de sementes viáveis. Considerando que a força e a direção, da correlação entre cipselas cheias, mediana de cinza, e germinação, permitem uma melhor compreensão da morfologia dessas estruturas com a germinação.

Discussão

Os resultados obtidos neste estudo revelaram importantes entendimentos sobre a relação entre o teste de raios X e a germinação das cipselas identificadas como cheias. Observando que, cipselas identificadas como cheias, pelo teste de raios X germinaram, sugerindo uma correlação entre a morfologia interna detectada por essa técnica e o potencial germinativo das sementes.

De acordo com Silva (2021), que mostra que a análise da morfologia interna das cipselas por meio de imagens radiográficas é eficiente na separação em categorias de cheias (que contêm uma semente totalmente desenvolvida e viável), malformadas (frutos secos que não possuem uma forma típica ou que têm algum tipo de anomalia estrutural) e vazias (a semente que deveria ter se desenvolvido no interior do fruto não amadureceu ou sofreu algum tipo de degeneração).

Neste estudo, foi importante verificar o potencial de germinação das cipselas cheias, para inferir se há uma relação de causa e efeito entre uma ausência ou possível menor desempenho germinativo, para as cipselas identificadas como malformadas nas imagens radiografadas. No entanto, um aspecto intrigante foi observado: algumas cipselas remanescentes, embora não tenham germinado, mostraram-se viáveis pelo teste de tetrazólio. Essa descoberta indica que a viabilidade das sementes não é o único fator determinante para o sucesso da germinação e tais resultados também foram apresentados por outros autores.

Melo et al. (2009) trabalhando com *L. pinaster* em dois estádios diferentes de maturação, obtiveram como resultado do teste de germinação, taxas de 16% e 40,5% de cipselas germinadas na categoria de cheias, 3% na categoria de cipselas malformadas, germinaram em uma das fases de maturação, não apresentando nenhuma germinação na categoria de vazias. As taxas obtidas por Melo et al. (2009) foram bem superiores que as taxas de *L. salicifolia* em condições parecidas, para este estudo, visto que a maior porcentagem obtida foi de 4,11% de germinação na categoria de cipselas cheias. Desta forma, é possível inferir que espécies do mesmo gênero podem apresentar peculiaridades no seu processo germinativo.

Corroborando aos dados deste estudo, resultados semelhantes foram observados por Melo et al. (2009) ao realizarem o teste tetrazólio em cipselas remanescentes do teste de germinação da *L. pinaster*, denotando taxas de até 36,5% de sementes cheias viáveis e que não germinaram. O fato de plantas do gênero *Lychnophora* apresentarem sementes viáveis em

condições supostamente adequadas e mesmo assim, não germinarem, pode ser atribuído a fatores ambientais, fisiológicos ou genéticos. Tais fatores podem incluir as condições do substrato, a presença de inibidores naturais ou condições laboratoriais não ideais que possam estar afetando o processo de germinação.

A diversidade das condições climáticas do Cerrado, também é um fator que pode afetar o processo de produção de sementes para a germinação em laboratório, sendo necessário o desenvolvimento de técnicas e manejos especiais para estabelecimento da coleta em campo, para que se obtenha sementes viáveis. Conforme relatam Henning et al. (2018), para espécies nativas não domesticadas, a qualidade do embrião pode estar associada à falta de uniformidade no florescimento da espécie, evento comum entre as espécies florestais, o que resulta em embriões com diferentes estágios de desenvolvimento. Este fator, também é ressaltado como determinante, por Gomes et al. (2002), em estudo com o *Baccharis dracunculifolia* (alecrim do campo), também da família *Asteraceae*, que é o estado fisiológico quando são colhidas, pois, quando imaturas, apresentam baixa germinação.

As cipselas de arnica apresentam germinação lenta e baixa, no entanto, essa baixa velocidade não parece estar relacionada somente a uma possível dormência tegumentar, uma vez que a viabilidade de cipselas foi positiva no teste com tetrazólio. Melo et al. (2014) também registraram baixos resultados de germinação (máximo de 7,88%), sob diferentes faixas de temperatura, entre 20 e 30°C. De acordo com Lepsch-Cunha e Gascon (2001), uma hipótese para a baixa germinabilidade é o isolamento populacional, ocasionado pela fragmentação, que tende a aumentar seus níveis de endogamia. Consequentemente, espera-se que ocorra alto grau de depressão endogâmica com baixa produção de frutos viáveis, dificuldade de estabelecimento e perda de vigor nas gerações subsequentes.

A avaliação de cipselas através dos testes de raios X neste estudo, foi eficiente na avaliação da viabilidade da semente e permite a identificação de diferenças morfométricas e de densidade tecidual entre as categorias cheias, malformadas e vazias. A associação do teste de raios X com o teste de germinação, demonstrou ser uma metodologia viável e aplicável para a seleção de cipselas de *Lychnophora salicifolia* para propagação, por ser um teste não destrutivo e de fácil e rápida aplicabilidade. Essa técnica pode ser aplicada em pesquisas futuras, para facilitar o índice de germinação de uma forma mais assertiva em laboratórios que visam a propagação de espécies nativas in vitro.

O diagrama de correlação demonstrou ser uma ferramenta gráfica útil, para explorar a relação entre variáveis em relação à germinação com a categoria cheia e com a mediana de cinza. A correlação positiva entre essas variáveis, pode oferecer insights valiosos sobre padrões e associações, de como estas informações estão inter-relacionadas com a germinação.

Embora o teste do tetrazólio seja bastante eficiente para uma estimativa rápida da viabilidade das sementes em geral, neste estudo ele demonstrou viabilidade em um número significativo de cipselas que não germinaram. Para algumas espécies, conforme observado por Wood et al. (2005), melhorias nos protocolos tanto para as condições de germinação quanto para o teste de tetrazólio são necessárias para garantir uma relação de 1:1 entre essas medidas de "qualidade" da semente a ser propagada. Assim, estudos mais específicos com espécies nativas, podem revelar variabilidades consideráveis, mesmo dentro do mesmo gênero. É imperativo aprimorar os protocolos tanto para as condições de viabilidade de germinação, quanto para o teste de tetrazólio, a fim de garantir uma relação mais eficiente para o entendimento das condições necessárias para a germinação das cipselas de *Lychnophora salicifolia*. A combinação das técnicas utilizadas pode servir como parâmetro para a exclusão de cipselas de *Lychnophora salicifolia* não aptas para o processo de germinação, sendo um importante critério para estudos de propagação de espécies nativas não domesticadas.

O conhecimento sobre o comportamento germinativo das sementes de espécies nativas ainda não é definido totalmente, pois esbarra-se na influência de fatores ambientais, fisiológicos ou genéticos que possivelmente estejam dificultando ainda mais o processo de propagação de tais espécies em laboratório, seja em condições de cultivo em caixa gerbox ou in vitro em meio de cultivo. É de fundamental importância para a reabilitação de áreas degradadas para fins de propagação e reflorestamento, o estudo e conhecimento dessas interações interespecíficas, porém ainda há carência de informações sobre essas espécies. Segundo Melo (2014), apesar dos avanços na multiplicação das arnicas in vitro, os levantamentos da sua produção sexuada também são válidos para garantir a variabilidade da espécie, visando uma possível domesticação.

Essas questões levantadas abrem espaço para futuras pesquisas, que podem explorar tanto os aspectos intrínsecos das sementes, quanto os fatores externos que podem influenciar seu desenvolvimento. Compreender esses mecanismos não apenas contribuirá para a melhoria das técnicas de propagação de plantas, mas também fornecerá entendimentos valiosos para a conservação e manejo de espécies nativas.

Conclusão

A associação do teste de raio x com o teste de germinação é uma metodologia viável e aplicável para a seleção de cipselas de *Lychnophora salicifolia* para fins de propagação, por ser um teste não destrutivo, de fácil e rápida aplicabilidade.

Referências bibliográficas

- Climate-Data. Clima: Montes Claros (2023). <https://pt.climate-data.org/search/?q=montes+claros>. Acessado em 6 de outubro de 2023.
- Franzin, SM, & Roversi T (2001) O que é vigor de sementes? Disponível em: <http://coral.ufsm.br/sementes/images/vigor.pdf>>. Acessado em: 7 de julho de 2022.
- Gobbo-Neto L, Bauermeister A, Sakamoto HT, Gouvea DR, Lopes JLC, Lopes NP (2017) Spatial and temporal variations in secondary metabolites content of the Brazilian arnica leaves *Lychnophora ericoides* Mart., Asteraceae. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 28(12):2382–2390. <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20170092>.
- Gomes V, Fernandes W (2002) Germinação de aquênios de *Baccharis dracunculifolia* D. C. (Asteraceae). *Acta Botânica Brasílica*, São Paulo, v. 16, n. 4, p. 421-427.
- Henning, AA. et al. (2018). Qualidade de Sementes e Grãos Comerciais de Soja no Brasil - safra 2014/15. *EMBRAPA SOJA*, v. 1, p. 234 p.
- International Seed Testing Association (2008). *International rules for seed testing – X- ray tested*. Bassersdorf, cap.14, p.14.1-14.3.
- Kotwaliwale N, Singh, K, Alne A, Jha SN, Seth N, Kar A (2014) X-ray maging methods for internal quality evaluation of agricultural produce. *J. Food Sci. Technol.* 51, 1–15. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0485-y>.
- Lepsch-Cunha N, Gascon C, Kageyama PY (2001) The genetics of rare tropical forests: implications for conservation of a demographically heterogeneous group. In: Bierregaard RO, Gascon C, Lovejoy TE, Mesquita RCG (eds) *Lessons from Amazônia: the ecology and conservation of a fragmented forest*. Yale University Press, New Haven, pp 79–95.
- Lopes SW (2008) Características físicas e fisiológicas de Aquênios de *Lychnophora ericoides* Mart. (Arnica-do-campo) de uma população ocorrente na serra da Bocaína, região do Alto Paranaíba, Minas Gerais. Dissertação Universidade Federal de Uberlândia, MG. 36 f.

Marzineck J, De-Paula OC, Oliveira DMT (2008) Cypsela or achene? Refining terminology by considering anatomical and historical factors. *Revista Brasil. Bot.*, V.31, n.3, p.549-553.

Melo PRB, Oliveira JA, Carvalho MLM, Guimaraes RM, Carvalho BO (2009) Aplicação do teste de raios X no estudo da morfologia interna e da qualidade fisiológica de aquênios de arnica (*Lychnophora pinaster* Mart.). *Revista Brasileira de Sementes*, Viçosa, MG, v.31, n.2, p.146-154.

Melo PRB, Oliveira JA, Guimarães RM, Pereira CE, Pinto JEBP (2014) Germinação de aquênios de *Lychnophora pinaster* em função de estágios de maturação, temperatura e luz. *Científica*, Jaboticabal, v.42, n.4, p.404-410.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2009). Regras para análise de sementes / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília: Mapa/ACS, 399 p.

Noronha BG de, Medeiros AD de, Pereira MD (2018) Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de *Moringa oleifera* lam. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 393-402, jan.-mar. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509831615>. Acessado em 26 de junho de 2023.

Pereira AMS, Bertoni BW, Fonseca VS, Amarante MFC, Lopes NP, Paron ME e França SC (2005) Micropropagação e conservação de *Lychnophora ericoides* Mart.: uma espécie medicinal do cerrado brasileiro. *Revista Fitos*, v.1, n.02.

Roque N & Bautista H (2008) Asteraceae: caracterização e morfologia floral. Editora Universidade Federal da Bahia. Salvador, BA. ISBN 978-85-232-0539-3.

Silva MKR (2021) Caracterização da germinação e estudo da morfologia de aquênios de *Lychnophora salicifolia* por meio de técnicas de análise de imagem. 2021. Dissertação, Universidade Estadual de Montes Claros, MG.

Souza AV, Pinto JEBP, Bertolucci SKV, Corrêa RM (2007) In vitro propagation of *Lychnophora pinaster* (Asteraceae): A Threatened Endemic Medicinal Plant. *Hort Science* 42(7):1665-1699.

Vieira RF, Bizzo H, Marengo A, Bicchi C, Sgorbini B, Rubiolo P (2019) Volatile profiling of Arnica *Lychnophora salicifolia* mart., a wild medicinal species from Brazilian Cerrado. *Plant Biosystems*,1–8. <https://doi.org/10.1080/11263504.2018.1549612>.

Wood CB, Miles S, Rix C, Terry J, Daws MI (2005) The effect of seed oil content on viability assessment using tetrazolium: a case study using 171 species. *Plant Genetic Resources Newsletter*, No. 143: 17-23.

CAPÍTULO 2

Artigo formatado de acordo com a Revista Brazilian Journal of Botany

Arquitetura aérea de *Lychnophora salicifolia* Mart. em regiões de Cerrado do Norte de Minas Gerais.

Renata da Silva Pacheco, Claudinéia Ferreira Nunes e Rúbia dos Santos Fonseca

Montes Claros - MG

Abril – 2024

Resumo

A análise arquitetônica é uma ferramenta eficaz para estudar a organização de plantas complexas, como a *Lychnophora salicifolia* Mart., conhecida como Arnica do Cerrado. Esta planta possui importância ecológica, ornamental e medicinal, demonstrando resistência à escassez de água e nutrientes, características essenciais para sua sobrevivência em ambientes de Cerrado. Este estudo objetiva avaliar se as características do solo das áreas de Lagoa de Freitas e Morro Vermelho, em Montes Claros, Minas Gerais, Brasil, influenciam em diferenças na arquitetura aérea das populações de *L. salicifolia*. Além de elaborar uma prancha de fotos de campo, a fim de disseminar o conhecimento e divulgar características morfológicas principais desta planta ainda pouco conhecida. A análise do solo indicou pouca diferença entre as áreas. Ambas ácidas, pobres em nutrientes e com baixa saturação por bases. Diferenças significativas foram observadas nos atributos de K, Ca e Mg entre as regiões. Processos erosivos e declive de relevo parecem favorecer a dominância da espécie na região de Lagoa de Freitas. Quanto às diferenças na arquitetura aérea, *L. salicifolia* mostrou-se polimórfica, com variações mais marcantes em parâmetros morfométricos como altura máxima, altura do ramo principal e diâmetro do ramo principal. A dissimilaridade observada através dos dados estatísticos, requer mais estudos, seja em localidades mais distantes entre si, ou entre diferentes tratamentos estatísticos, para confirmar se os parâmetros morfométricos aqui avaliados, são os que melhor explicam as diferenças observadas na arquitetura aérea desta espécie, consideradas como padrões adaptativos da espécie.

Palavras-chave: Plasticidade fenotípica, condições edáficas, parâmetros morfométricos, nativas.

Abstract:

Architectural analysis is an effective tool for studying the organization of complex plants, such as *Lychnophora salicifolia* Mart., known as Arnica do Cerrado. This plant has ecological, ornamental, and medicinal importance, demonstrating resistance to water and nutrient shortages, essential characteristics for its survival in Cerrado environments. This study aims to evaluate whether soil characteristics in the areas of Lagoa de Freitas and Morro Vermelho, in Montes Claros, Minas Gerais, Brazil, influence differences in the aerial architecture of *L. salicifolia* populations. In addition to preparing a board of field photos, to disseminate knowledge and publicize the main morphological characteristics of this still little-known plant. Soil analysis indicated little difference between areas. Both are acidic, poor in nutrients and low in base saturation. Significant differences were observed in the attributes of K, Ca, and Mg, between regions. Erosive processes and relief slope seem to favor the dominance of the species in the Lagoa de Freitas region. Regarding differences in aerial architecture, *L. salicifolia* proved to be polymorphic, with more striking variations in morphometric parameters such as maximum height, height of the main branch and diameter of the main branch. The dissimilarity observed through statistical data requires further studies, either in locations more distant from each other, or between different statistical treatments, to confirm whether the morphometric parameters evaluated here are those that best explain the differences observed in the area architecture of this species, considered as adaptive patterns of the species.

Keywords: Phenotypic plasticity, soil conditions, morphometric parameters, native.

Introdução

A análise arquitetônica tem se mostrado uma ferramenta eficiente para o estudo da organização de plantas complexas e resulta da combinação entre características genéticas e as condições fenotípicas (Barthélémy & Caraglio 2007). A organização tridimensional dos componentes da planta no espaço é a definição mais usual para o termo arquitetura aérea vegetal (Godin et al. 1999; Reinhardt & Kuhlemeier 2002; Nessim 2008), que depende da natureza e da disposição relativa de cada uma de suas partes. É a expressão de um equilíbrio entre processos de crescimento endógenos e restrições exógenas exercidas pelo ambiente.

A composição química do solo, acidez, profundidade, drenagem, cobertura, topografia e interações biológicas, são alguns dos principais agentes ambientais que moldam características seletivas sobre as plantas (Troeh & Thompson 2007). Diante desta abordagem, podemos citar que a plasticidade fenotípica pode estar relacionada com as diferenças nutricionais de um solo (Hutchings 1988), podendo representar estratégias adaptativas que permitem um indivíduo a maximizar sua aptidão em ambientes muito variáveis, como o Cerrado por exemplo. Esses estudos desempenham um papel importante na ecologia, evolução e resposta das espécies às mudanças ambientais, permitindo-lhes sobreviver e se reproduzir em diferentes condições ambientais. Pesquisas com plasticidade fenotípica, fenologia e arquitetura da copa na ecologia evolutiva das plantas, permitem a compreensão da estrutura, funcionamento e produção da comunidade e do povoamento de uma espécie (Givnish 1984; King 1998; Diggle 1999, 2002; Huber et al., 1999; Alpert & Simms 2002; Novoplansky 2002; Wright et al. 2002; Oborny 2004; Sachs 2004; Damascos et al. 2005; de Kroon et al. 2005; Pearcy et al. 2005; Wolfe & Mazer 2005).

A *Lynchnophora salicifolia* Mart., popularmente conhecida como arnicão, é uma das mais polimórficas espécies da família Asteraceae, considerada a espécie tipo do gênero e com distribuição constituindo populações mais ou menos disjuntas em quase todas as serras dos estados da Bahia, Minas Gerais e Goiás (Semir 2011). Ocorre em bolsões de solo raso de afloramentos ferruginosos, quartzíticos ou de arenito (Coile & Jones 1981; Semir 2011), normalmente está associada a declives secos formados por pedras soltas, afloramentos areníticos, pedras quartzíticas, campos rupestres úmidos ou a formações abertas de cerrado (Coile & Jones 1981). Essa espécie demonstra notável resistência à escassez de água e nutrientes, características essenciais para sua sobrevivência em ambientes de Cerrado. Devido à sua importância ecológica, ornamental e medicinal, *L. salicifolia* está incluída em uma lista

de espécies aromáticas e medicinais do cerrado com alta prioridade para coleção de germoplasma e conservação (Vieira 1999). A construção de conhecimentos sobre aspectos relacionados a arquitetura aérea e conhecimento da ecologia da espécie, podem auxiliar na conservação da espécie em seu ambiente de ocorrência, assegurando assim sua perpetuação (Gonzaga et al. 2021), a exploração extrativista de arnica em seu habitat natural pode levar a espécie à extinção (Melo et. al. 2009), por isso, é importante a construção de conhecimentos sobre aspectos relacionados a esta espécie nativa, ainda pouco conhecida. As pranchas botânicas, são recursos de grande valia para estudos com plantas (Santos et al. 2020). A criação de uma prancha botânica para esta espécie pode ser uma forma útil de documentar suas características físicas, como forma, identificação de flores, frutos e textura, para um conhecimento acurado das estruturas e divulgação da espécie.

No município de Montes Claros, localizado ao norte de Minas Gerais, ocorrem amplas áreas da formação cerrado *sensu stricto*. Esse Cerrado é caracterizado por uma vegetação, com árvores baixas e retorcidas, arbustos espaçados e uma diversidade de gramíneas e outras plantas herbáceas. Essas áreas podem apresentar uma vegetação diferente da encontrada em áreas de depressão ou planície, devido a diferenças na disponibilidade de água, nutrientes e exposição ao sol. Com a vegetação de baixadas que ladeiam as Serras, podem ocorrer ecótonos mais ou menos extensos, que dão uma fisionomia diferente de campos nestes locais. Desta forma, onde existe cerrado na parte basal da serra, aparecem comumente longos ecótonos, onde as plantas das duas comunidades encontram-se misturadas. Essas áreas podem abrigar espécies vegetais adaptadas a condições mais secas ou mais expostas, e podem desempenhar um papel importante na conectividade ecológica dentro do Cerrado (Semir 1991). Os solos geralmente são ácidos, bem drenados e pobres em nutrientes, refletindo a geologia predominante da região, que inclui rochas de quartzito e arenito.

Diante do exposto, objetivou-se responder aos questionamentos:

- 1.As características dos solos das populações avaliadas podem ser consideradas importantes na determinação dos perfis locais de *Lychnophora salicifolia*, uma vez que as plantas evoluem para se adaptarem às condições específicas do ambiente em que ocorrem?
- 2.As populações de *Lychnophora salicifolia* das regiões de cerrado *sensu stricto* apresentam diferenças em relação a arquitetura aérea entre as localidades estudadas?
3. Elaborar uma prancha de fotos da morfologia das plantas de *L. salicifolia* avaliadas em campo.

As hipóteses deste trabalho são de que a arquitetura de *L. salicifolia* evoluiu sendo influenciada pela composição química de um solo pobre e raso que favorece seu estabelecimento nessas regiões. Com isso, é esperado uma arquitetura aérea mais complexa, com elevado polimorfismo, o que nos leva a questionar quais parâmetros morfométricos seriam importantes para avaliar a arquitetura aérea da espécie em área de Cerrado sensu stricto, fora da região de campos rupestres, ambiente onde mais comumente ocorre e é estudada.

Material e métodos

Área de estudo

O estudo foi realizado no município de Montes Claros, localizado ao norte de Minas Gerais. O clima da região, de acordo com a classificação de Köeppen, é definido como AW-tropical com inverno seco, com duas estações climáticas bem definidas: uma estação chuvosa, que geralmente ocorre de outubro a março, e uma estação seca, de abril a setembro. A altitude média é de aproximadamente 657 metros acima do nível do mar, mas está situada em uma área com relevo muito variado (Fig.1).

Foram amostradas duas populações de *L. salicifolia* Mart. (Cadastro SisGen nº A0F0755) nessa região: A área Lagoa de Freitas (LF), situada numa comunidade rural, distante cerca de 40 km de Montes Claros (16°52'43.0"S , 44°09'10.1"W), com altitude em cerca de 940 m (Figura 1). E a área Morro Vermelho (MV), localizada numa comunidade rural, situada a 20 km de Montes Claros, (16°53'00"S, 43° 59'06"W), com altitude de 1010 m (Figura 1). As duas áreas estão distantes cerca de 20 Km entre si, sendo classificadas como “cerrado sensu stricto”, do tipo ralo, de topo ou encosta.

Na área LF, o solo é relativamente heterogêneo, com um pequeno morro formado por cascalho e pedras soltas, a fitofisionomia é dominada pela presença marcante de populações de *L. salicifolia*, alguns arbustos mais espaçados e tufo esparsos de gramíneas. Já na área MV, o solo é relativamente mais homogêneo, apresentando-se mais seco e arenoso, os indivíduos de *L. salicifolia* são mais altos, com copas maiores, porém não predominam. Há maior diversidade de vegetação e concentração mais densa de arbustos.

Para confecção da prancha de fotos em campo, foi utilizada a câmera de um smartphone Android, dando ênfase às estruturas como: caule, frutos, folhas, inflorescências de plantas de *L. salicifolia* avaliadas em LF e MV.



Fig.1 Populações estudadas de *Lychnophora salicifolia* Mart. e seus respectivos pontos de análise (LF: Lagoa dos Freitas e MV: Morro Vermelho) no Município de Montes Claros, Minas Gerais - Brasil. Fonte: Google Earth, 2024.

Arquitetura aérea

Para a caracterização da arquitetura das populações acima descritas, indivíduos foram selecionados aleatoriamente em ambas as áreas, (incluindo indivíduos jovens e adultos), perfazendo 60 plantas por área. Seguindo metodologia proposta por Nessim (2008), para descrever a arquitetura de *L. salicifolia*, foram mensurados oito parâmetros morfométricos: Altura do ramo principal (Hpri), Altura máxima (Hmax), Altura do primeiro ramo (H1r), Diâmetro do ramo principal; (Diapri), Diâmetro da copa (Diacop), Número de ramos secundários e terciários (Ram), Número de inflorescências (Inflo) e Área foliar estimada (AFE).

A altura do ramo principal (Hpri) foi medida desde a base da planta, até o ápice da copa. A altura máxima (Hmax) foi medida desde a base da planta, até o ápice do ramo mais alto da copa. A altura da primeira ramificação (H1r) foi medida desde a base da planta, até a base do primeiro ramo secundário. Alguns indivíduos adultos não apresentavam ramificação alguma. A não inserção deste dado poderia prejudicar a interpretação dos resultados, pois tais indivíduos seriam excluídos das análises. Desta forma, optou-se por considerar a altura da primeira ramificação como igual ao valor da altura do ramo principal. O diâmetro do ramo principal (Diapri) foi medido a 5 cm do solo, antes de qualquer ramificação. O diâmetro da copa (Diacop)

foi calculado como a média aritmética entre o maior eixo da copa e o eixo perpendicular ao mesmo, devido ao formato irregular. O número de ramos (Ram), foi calculado como a soma dos ramos secundários e terciários. Embora alguns indivíduos apresentassem ramos quaternários, tais ramos não foram incluídos na contagem. Para a contagem do número de inflorescências (Inflo) foram contabilizadas todas as inflorescências, mesmo aquelas que já estivessem secas ou mortas. Área foliar estimada: obtido multiplicando o comprimento (CF) e a largura do folhas (LF). O comprimento da lâmina foliar (Clf), refere-se à extensão do ramo principal ocupado pelas folhas. O comprimento (Cf) e a largura da folha (Lf,) foram medidos em cinco folhas (coletadas aleatoriamente) do ramo principal.

Análise de solo

As amostras de solo foram coletadas nos meses de junho e outubro de 2023. Foram coletadas 4 amostras de solo nas camadas de 10-20 cm e 20-40 cm de profundidade em cada população (Fig.1), para avaliação de atributos químicos e físicos. As amostras foram coletadas e armazenadas em sacos plásticos vedados, identificados e posteriormente, encaminhadas ao Laboratório de Análise de Solos do Instituto de Ciências Agrárias da UFMG, campus Montes Claros. Para a determinação de atributos químicos do solo utilizou-se a metodologia proposta pela PROFERT-MG (ver anexo 2), adaptada pela Embrapa (Claessen et al. 1997).

Análise estatística

Os dados foram submetidos ao teste T Student ($p \leq 0.05$) para comparar as médias entre as populações avaliadas. Foi utilizado análise de principais componentes (PCA) para verificar o agrupamento dos indivíduos das duas populações. A fim de avaliar a dissimilaridade entre os indivíduos de cada população, foram calculadas as distâncias entre eles, pelo método da distância euclidiana padronizada média e o dendrograma pelo método UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean). Foram calculadas também as estimativas das correlações de Pearson entre as variáveis avaliadas. As análises foram realizadas no software R Core Team (2023).

Resultados

Considerações de campo sobre a morfologia de Lychnophora salicifolia. Mart.

Os trabalhos científicos publicados sobre a espécie *L. salicifolia*, ainda são escassos, sendo de extrema importância, o conhecimento e divulgação desta planta. Desta forma, foi elaborada uma prancha de fotos da espécie (Fig.2), com as principais observações registradas em campo, nas regiões de Morro Vermelho e Lagoa de Freitas em Montes Claros, Minas Gerais.

Considerando a arquitetura aérea, *L.salicifolia* é representada por arbustos candelabriformes (Fig. 2A), apresentando ramo principal com crescimento monopodial (Semir 2011). As folhas são longas, aromáticas, coriáceas e alternadas com cicatrizes evidentes nos ramos após a queda das folhas. Observou-se em campo as diversas fases e maturação desses capítulos agregados que abrigam as sementes (Fig. 2B-E). As inflorescências em capítulos são constituídas por glomérulos simples e apresentaram-se com flores de coloração lilás até quase branca (Fig. 2F). Os frutos-semente, são do tipo cipselas, de coloração castanho escuras, com pápus externo e estrigosas (Fig.2G), nos quais é comum observar o ataque por fungos, larvas e insetos (Fig.2H). Os caules e ramos são cilíndricos, o eixo principal quando mais basal pode apresentar tricomas e é mais lenhoso e fendido, algumas vezes abrigando líquens (Fig.2I). Os ramos são mais delicados cobertos por um indumento aveludado e mais flexíveis, aromáticos e com nódulos notadamente demarcados da bainha proveniente das folhas (Fig.2J-K).

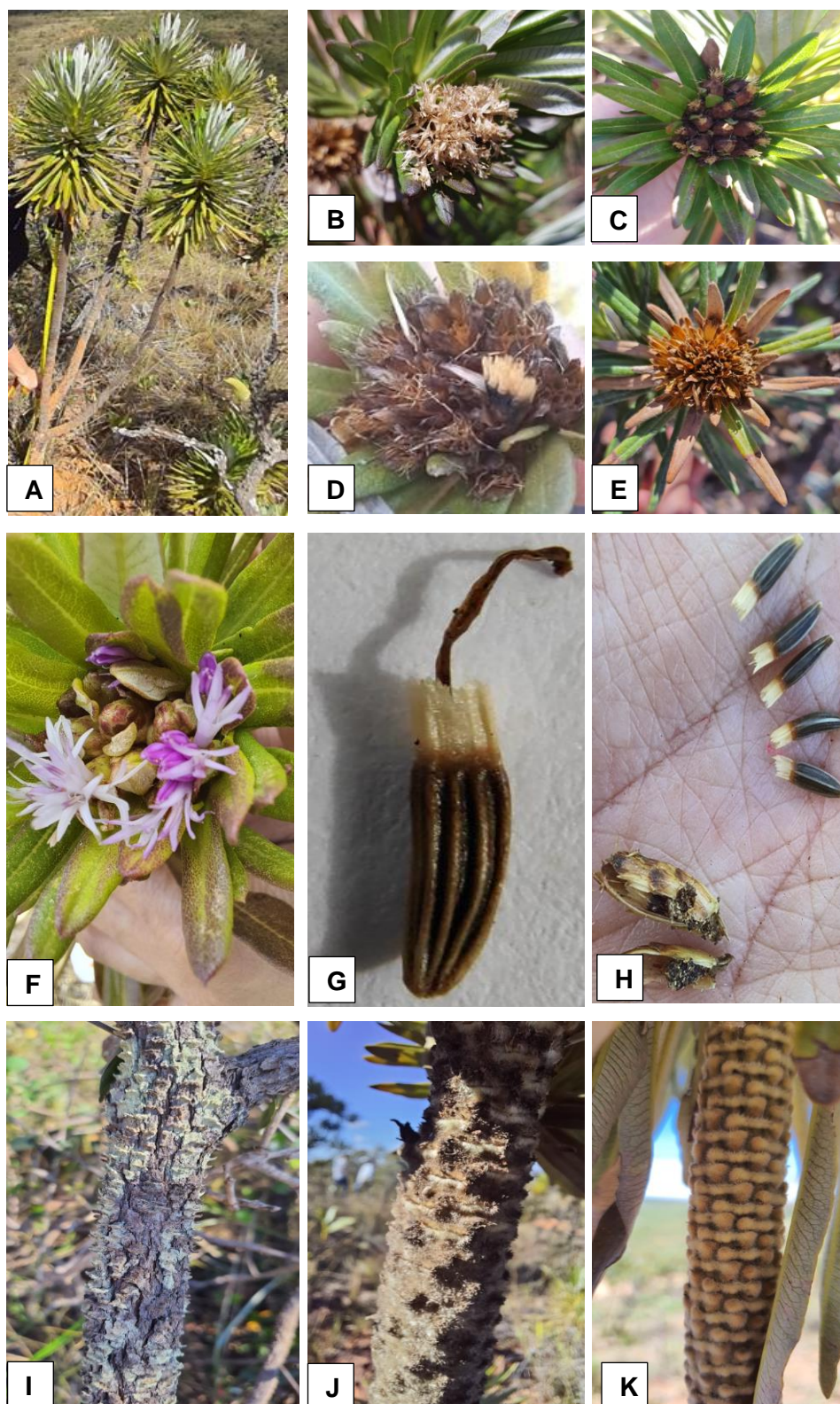


Fig. 2 Fotografias de campo de *Lychnophora salicifolia* Mart. A. Arquitetura da planta e potencial ornamental. B-E. Capítulos em diferentes níveis de maturação abrigando as cipselas. F. Inflorescência. G. Visão geral de uma cipsela de *L.salicifolia*. H. Cipselas íntegras e capítulos deteriorados por larvas de insetos. I-K. Tipos de caule e ramos observados na espécie. Autora: Renata Pacheco, 2023.

*As características dos solos das regiões, Lagoa de Freitas e Morro Vermelho podem ser consideradas importantes na determinação da morfologia, das características das populações de *Lychnophora salicifolia* Mart, uma vez que as plantas evoluem para se adaptarem às condições específicas do ambiente em que ocorrem?*

As características do solo desempenham um papel crucial na determinação das populações de *Lychnophora salicifolia* nas regiões da Lagoa de Freitas e do Morro Vermelho. Essas plantas evoluíram ao longo do tempo para se adaptarem às condições específicas do ambiente em que ocorrem, e o solo desempenha um papel fundamental nesse processo. De forma geral, a análise do solo das regiões com a presença das populações de *L. salicifolia*, indicou pouca diferença entre as duas áreas, sendo ambos os solos considerados ácidos (acidez média) (Tabela I), pobres em nutrientes e com baixos valores de saturação por bases. Entretanto, a área da região de MV (Morro Vermelho), exibiu melhor fertilidade, mesmo que ainda baixa, apresentando maiores níveis trocáveis de macronutrientes (Ca, K, Mg), sendo as populações de *L. salicifolia* mais espaçadas e dispersas, quando comparadas com a área da região de Lagoa de Freitas, onde apresentam uma população bem densa e dominante da espécie (Tabela I). Portanto, compreender as características do solo nessas regiões é fundamental para entender a distribuição e a ecologia desta espécie de planta.

De acordo com a Tabela I, o solo da área LF (Lagoa de Freitas) é composto principalmente por silte (48,94%) e areia (27,66%), além de apresentar pedregulhos médios a grandes nos 10 cm superficiais do solo (Fig.3-A), enquanto o solo da área MV (Morro Vermelho), contém principalmente areia (52,8%) e argila (33,43%), maior capacidade para retenção de água e com presença de uma camada maior de serrapilheira (Fig.3-B). Neste contexto, apesar da semelhança apresentada em relação às análises de solo, as regiões apresentam diferenças visuais nas características vegetacionais e topográficas que podem explicar as diferenças sutis apresentadas na Tabela I, quanto à adaptação de *L. salicifolia* nos dois ambientes analisados.

Tabela I: Valores médios da análise de solo das áreas LF (Lagoa de Freitas) e MV (Morro Vermelho) para determinação de atributos químicos e nutricionais de ocorrência de *Lychnophora salicifolia* em Montes Claros, MG- Brasil.

Atributos do solo	Amostras			
	LF (10/20cm)	MV (10/20cm)	LF (20/40 cm)	MV (20/40 cm)
pH em água	5,6	5,2	5,2	5,1
P Mehlich (mg dm ⁻³)	0,1	0,3	0,1	0,2
P remanescente (mg L ⁻¹)	30,5	27,4	32,2	27
K (mg dm ⁻³)	12,5	23,4	12,5	23,4
Ca (cmolc dm ⁻³)	0,31	0,64	0,17	0,51
Mg (cmolc dm ⁻³)	0,1	0,34	0,08	0,44
Al (cmolc dm ⁻³)	0,72	0,76	0,68	0,52
H + Al (cmolc dm ⁻³)	1,94	3,7	2,1	2,77
SB (cmolc dm ⁻³)	0,44	1,04	0,28	1,01
t (cmolc dm ⁻³)	1,16	1,8	0,96	1,53
m (%)	62	42,2	70,7	34
T (cmolc dm ⁻³)	2,38	4,74	2,38	3,78
V (%)	18,54	21,95	11,85	26,71
Mat. Org. (dag kg ⁻¹)	1,7	1,43	1,43	1,3
Carbono Org. (dag kg ⁻¹)	0,99	0,83	0,83	0,75
Areia total (dag kg ⁻¹)	34,7	55,18	27,66	52,8
Silte (dag kg ⁻¹)	43,96	18,67	48,94	13,77
Argila (dag kg ⁻¹)	21,98	26,14	23,4	33,43

Análise realizada de acordo com o PROFERT-MG, 2023 (ver anexo2).

A região de LF apresenta um solo epipedregoso, com capacidade moderada de retenção de água e nutrientes, podendo proporcionar uma boa drenagem (Fig.3-A) Porém, devido aos baixos valores apresentados para nitrogênio, fósforo e potássio, é um solo pobre em nutrientes. Outro fator que deve ser levado em consideração, é o declive topográfico observado, o que pode tornar os processos de lixiviação e erosão como uma certa barreira para limitar o desenvolvimento de outras plantas do Cerrado, visto que nesse ambiente, *L. salicifolia* predomina. A topografia do solo também pode influenciar a quantidade de luz solar recebida

pelas plantas, e solos compactados podem apresentar resistência física ao crescimento das raízes e limitar a expansão das plantas. Isso pode levar a alterações na arquitetura aérea, como menor altura das plantas ou menor desenvolvimento de ramos (Fig.3-C), conforme visto em LF.

A região de MV possui um tipo de solo caracterizado por maior porcentagem de areia quartzosa e argila em suas camadas superficiais (Fig.3-B). Algumas plantas podem ser adaptadas a essas condições específicas, enquanto outras podem encontrar desafios. Geralmente, solos com essa combinação de areia e argila podem ter características intermediárias entre solos arenosos e solos argilosos, apresentando benefícios de boa drenagem proporcionados pela areia e uma capacidade moderada de retenção de água e nutrientes devido à presença de argila (Fig.3-D) e nestas condições, *L. salicifolia* não predominou.

A principal diferença entre as duas áreas em relação ao solo, está em função da posição no relevo, onde LF se apresenta com alto índice de silte, e bastante pedregoso e em declive, com predominância da espécie de *L. salicifolia* (Fig.3-C), que se adaptou muito bem às condições inóspitas observadas neste local. Além da pouca disponibilidade e diversidade de matéria orgânica, apresentando valores muito baixos de K, Ca, Mg, saturação por bases (SB) e na porcentagem de saturação por bases (V%) (Tabela I), quando comparado com os valores baixos de MV. *L. salicifolia* parece estar mais bem adaptada em LF, do que outras espécies do Cerrado da região, visto que em solo muito pobre, a espécie predomina no ambiente. Já na região de MV, a presença de uma camada de serapilheira ou materiais orgânicos mais diversificados, mesmo que pequenas em relação a diversidade local, podem sugerir motivos para *L. salicifolia* não predominar (Figs.3-B/C).

Diante dos dados expostos, as características dos solos das regiões de LF e MV podem sim, determinar o estabelecimento de populações *L. salicifolia* para cada região avaliada. Esses dados fornecem informações detalhadas sobre a fertilidade e a composição do solo das áreas analisadas, sendo essenciais para compreender as condições edáficas nas quais as populações de *Lychnophora salicifolia* estudadas estão inseridas.

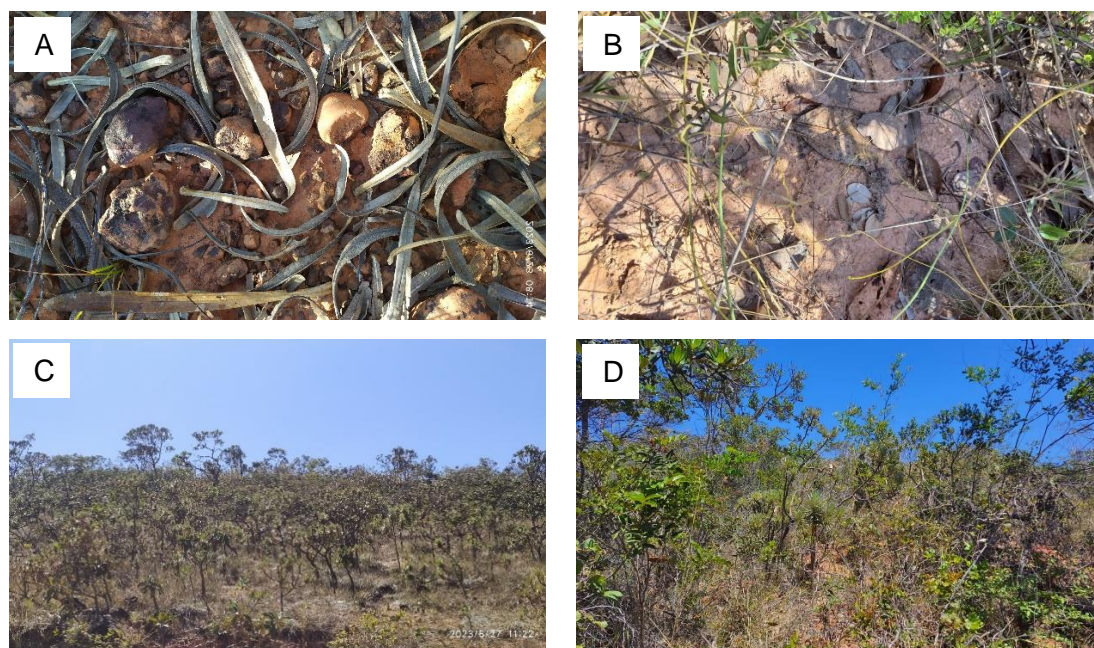


Fig 3 A- Solo da região de Lagoa de Freitas (LV); B- Solo da região de Morro Vermelho (MV); C- Complexo vegetacional de LF e D- Complexo vegetacional de MV. Autora: Renata Pacheco, 2023

As populações de Lychnophora salicifolia das regiões de Lagoa de Freitas e Morro Vermelho apresentam diferenças em relação a arquitetura área das plantas?

Com base nos resultados obtidos da avaliação dos parâmetros, observou-se que, as populações de *Lychnophora salicifolia* das regiões de Lagoa de Freitas e Morro Vermelho apresentam diferenças em relação a arquitetura aérea das plantas, especificamente nos parâmetros morfométricos de altura do ramo principal (Hpri), altura máxima (Hmax) e diâmetro do ramo principal (Diapri) (Fig.4). No entanto, é importante observar, que outros parâmetros avaliados não apresentaram diferenças representativas entre as áreas (Fig.4).

Portanto, com base nos dados disponíveis, as diferenças na arquitetura aérea são localizadas e específicas para certos parâmetros, enquanto outros aspectos permanecem semelhantes entre as populações avaliadas. De acordo com essas diferenças e semelhanças, grupos de indivíduos foram organizados, a fim de facilitar o entendimento e importância dos parâmetros avaliados para o estudo da arquitetura aérea dos indivíduos, nas populações estudadas. Sendo que a área MV apresentou médias superiores praticamente em todos os parâmetros avaliados quando comparado com a área de LF. Os parâmetros Hpri, Hmax e Diapri

(Fig.4) que apresentaram as principais variações arquitetônicas em *L. salicifolia*, muito provavelmente são o resultado de alto grau de plasticidade fenotípica e polimorfismos já conhecidos da espécie, sendo importantes para o estudo da arquitetura aérea de populações de plantas de *L. salicifolia*.

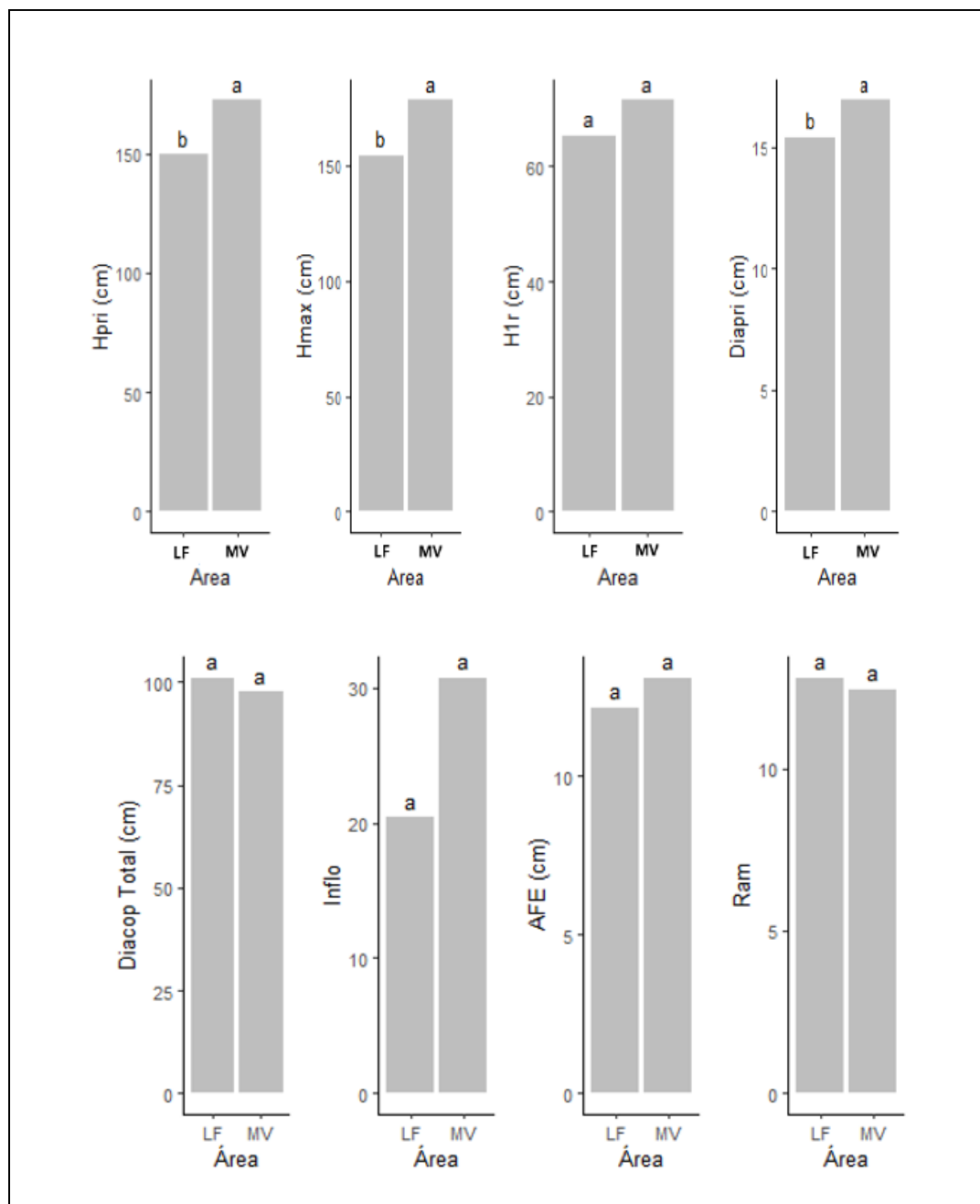


Fig. 4 Comparação dos parâmetros morfométricos das populações de *Lychnophora salicifolia* avaliadas através do Teste T Student para amostras independentes ($p \leq 0.05$), entre as áreas LF (Lagoa de Freitas) e MV (Morro Vermelho). Altura do ramo principal (Hpri), Altura máxima (Hmax), Altura do primeiro ramo (H1r), Diâmetro do ramo principal; (Diapri), Diâmetro da copa (Diacop), Número de ramos secundários e terciários (Ram), Número de inflorescências (Inflo) e Área foliar estimada (AFE).

Nas Figuras 5 e 6 dos dendrogramas, foi possível identificar através dos pontos de corte (em vermelho), que devido aos diversos clusters formados, foi observada a presença de dissimilaridade entre os indivíduos analisados nos padrões morfométricos avaliados nas regiões de LF e MV. Porém, na figura 5, na região de LF, é possível identificar um número maior de clusters no ponto de corte estabelecido para o dendrograma, quando comparado com a região de MV, indicando que a dissimilaridade entre os indivíduos analisados em LF, apesar de pequena, pode ser ainda maior, indicando uma população mais polimórfica.

Na região de MV, foi possível observar um padrão de dois clusters, sendo um deles, um cluster mais isolado, composto pelos indivíduos MV-69, MV-90, MV-112, MV-75 e MV-80 que apresentam similaridades mais bem estabelecidas em relação aos padrões morfométricos avaliados. Isso pode explicar que, embora a dissimilaridade ocorra, os parâmetros relacionados à altura da planta e diâmetro do caule, refletem diretamente nas adaptações principais que a planta utiliza na sua arquitetura aérea para se estabelecer neste local, e estabelecer este padrão no grupo. A relação cofenética de 0.78** e 0.74** (Figs. 5 e 6) sugere uma boa correspondência entre a árvore filogenética e a matriz de distâncias, mas também significa que aproximadamente 22% da variação na matriz de distâncias não é capturada pela árvore.

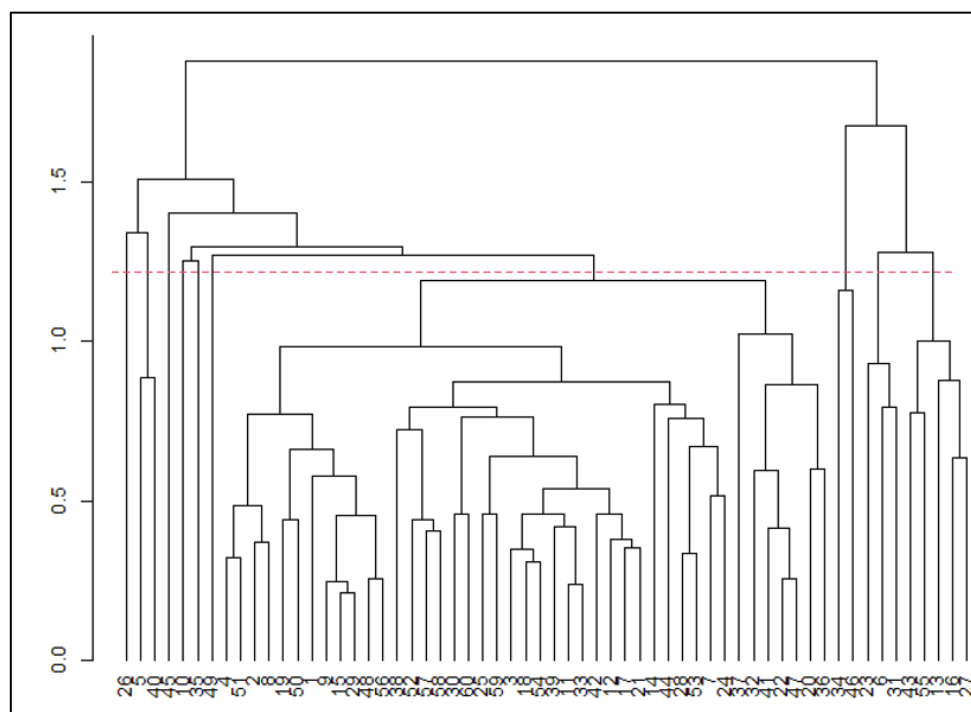


Fig.5 Dendrograma da área Lagoa de Freitas, pelo método da ligação média - UPGMA para estimativa de distância euclidiana padronizada entre os indivíduos da população de *Lychnophora salicifolia* em relação aos padrões morfométricos de arquitetura aérea. Correlação cofenética: 0.78**

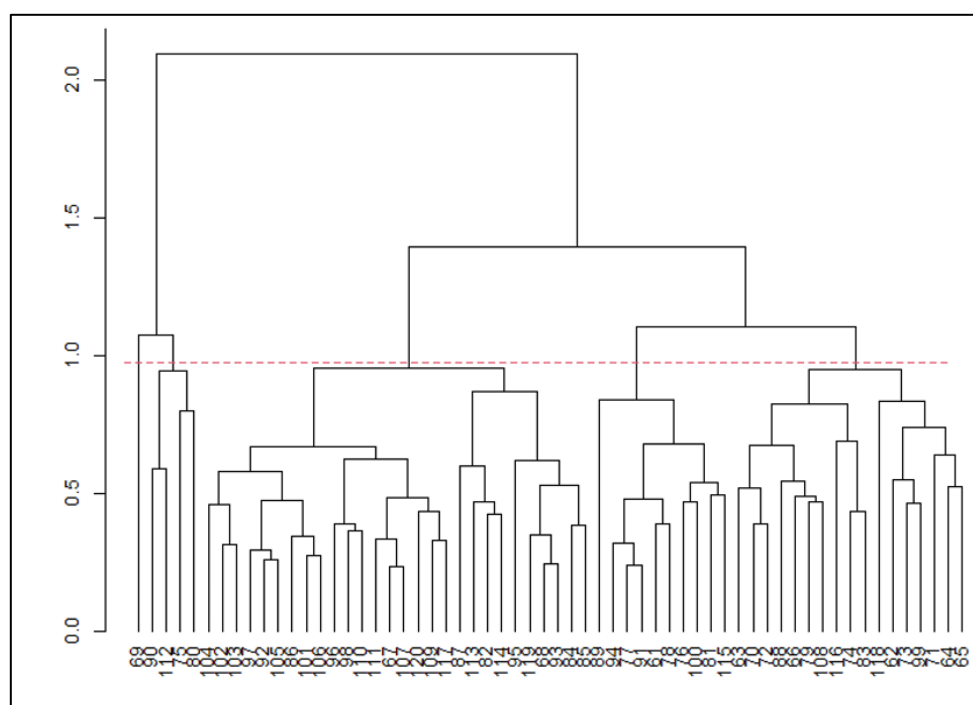


Fig. 6 Dendrograma da área Morro Vermelho, pelo método da Ligação média - UPGMA para estimativa de distância euclidiana padronizada entre os indivíduos da população de *Lychnophora salicifolia* em relação aos padrões morfométricos de arquitetura aérea. Correlação cofenética: 0.74**

Sendo assim, a fim de corroborar a dissimilaridade dos indivíduos, através de outra metodologia, pela análise de componentes principais, foi notável a confirmação entre os clusters previamente apresentados. A variação explicada pelos eixos 1 e 2 da PCA (Fig. 7) de 59,90% foi representativa e demonstrou no plano cartesiano que apenas alguns indivíduos de MV mostraram-se agrupados e similares.

Desta forma, em função da arquitetura aérea, as plantas não puderam ser separadas em grupos discriminantes (Fig. 7) através dos oito padrões morfométricos avaliados, nas duas regiões analisadas, conforme citado anteriormente

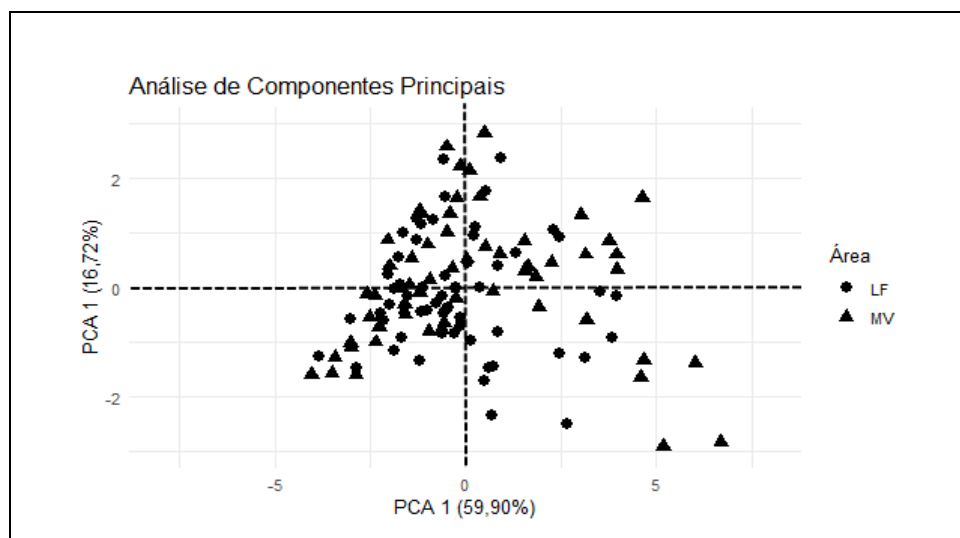


Fig. 7 Análise de componentes principais dos indivíduos das populações de LF (Lagoa de Freitas) (n=60) e MV (Morro Vermelho) (n=60) de *Lychnophora salicifolia* quanto aos parâmetros morfométricos de arquitetura aérea, avaliados em duas áreas da região de cerrados *sensu stricto* em Montes Claros, Minas Gerais, Brasil.

Diante do exposto, utilizou-se as correlações de Pearson para avaliar a força (coloração e valores - Fig.8) e a direção da relação linear entre as variáveis em função dos caracteres morfométricos de arquitetura aérea avaliados. Foi possível observar que a área foliar estimada (AFE) apresenta baixíssima relação a todos os outros parâmetros avaliados, sendo todos os índices negativos (coloração fraca e rosada – Fig.8) e $< 0,42$, assim como a altura do primeiro ramo (H1R), que apresentou valores baixos entre 0,08 e 0,20. Assim, esses dois parâmetros, não são índices representativos para o estudo dessa espécie. Os valores de diâmetro principal do caule (Diapri) e diâmetro total da copa (Diacop total), estão diretamente relacionados com o número de inflorescências (Inflo) e ramificações (Ram), apresentando valores positivos, de coloração mais forte azulada e bem próximos de 1. Esses dados sugerem que para análises de arquitetura aérea de *L.salicifolia*, os valores de Diapri, Diacop total, Inflo e Ram quando relacionados, também são caracteres que podem auxiliar para a avaliação e o entendimento da arquitetura aérea da espécie e suas adaptações.

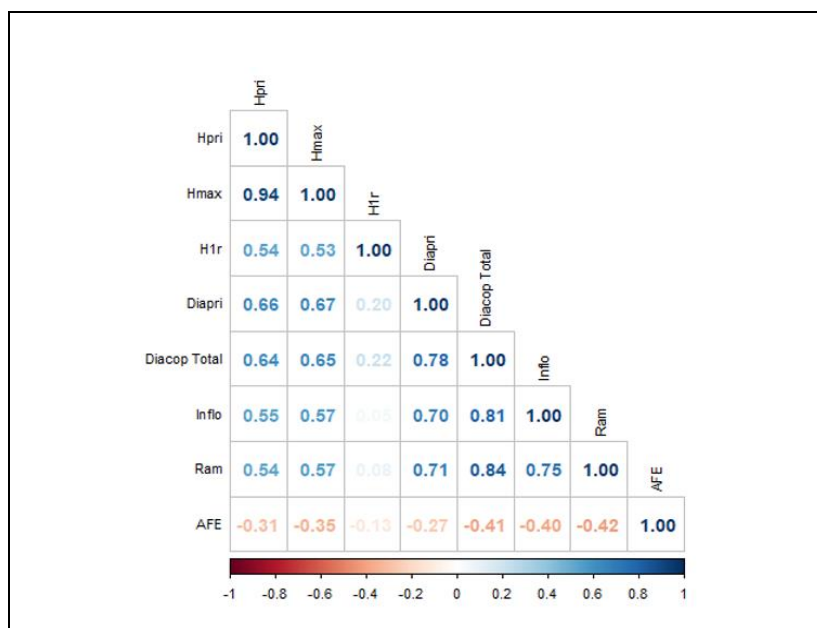


Fig. 8 Estimativas das correlações de Pearson entre as variáveis avaliadas de arquitetura aérea de *Lychnophora salicifolia*. Altura do ramo principal (Hpri), Altura máxima (Hmax), Altura do primeiro ramo (H1r), Diâmetro do ramo principal; (Diapri), Diâmetro da copa (Diacop), Número de ramos secundários e terciários (Ram), Número de inflorescências (Inflo) e Área foliar estimada (AFE).

Discussão

Uma das hipóteses já confirmadas neste estudo, de que a arquitetura aérea poderia ser influenciada pela qualidade nutricional do solo, já foi avaliada por outros pesquisadores que estudaram o gênero *Lychnophora*. Bueno (2012), afirma para a arquitetura de *L. ericoides*, e Ribeiro (2019), para *L. pinaster*, que a qualidade nutricional do solo é fortemente influenciada pela arquitetura da planta, e que seu arranjo aéreo no espaço evoluiu, favorecendo sua reprodução e estabelecimento nessas áreas endêmicas.

Nessim, (2008), único trabalho que avalia a espécie *L. salicifolia*, associando com parâmetros de arquitetura aérea, afirma que os fatores abióticos que parecem ter maior importância na determinação da arquitetura de *L. salicifolia* são: a disponibilidade de água, as concentrações de potássio e fósforo no solo, bem como a acidez do solo (que limita a absorção de magnésio). Solos menos férteis (com relação a água e nutrientes) causam uma simplificação em sua arquitetura (redução no número de ramos) e alteram sua estrutura populacional com uma diminuição na frequência das maiores classes de tamanho.

Tais afirmações corroboram os dados deste estudo, evidenciando que os baixos estoques de Ca e Mg da localidade de LF, em relação a MV, podem ser confirmadas com a disposição da população avaliada. Uma vez que os indivíduos de LF são menores e predominantes. Esta espécie por ser bastante resistente a pouca disponibilidade de água e apresentar baixas exigências nutricionais, predomina na área avaliada de LF, assim como a exposição sucessiva a processos de lixiviação e erosão sofridos no terreno. Tal explicação fortalece a hipótese também abordada neste estudo, onde a inclinação do terreno da área de LF pode estar sujeita a essas intempéries, resultando também em um solo ácido e pobre.

Semir (1991), ainda complementa que em ambientes restritos com topografia acidentada, temperaturas elevadas durante o dia, e caindo muito a noite, além de solos rasos e pobres, propiciam condições ecológicas que promovem uma especiação intensa, desta forma, pode-se ter isolamentos de gêneros e espécies com alto grau de endemismo, como pode ser o caso do gênero *L. salicifolia* predominar na área de LF aqui estudada.

Os estoques de Ca neste estudo, foram mais altos no Cerrado de MV, possivelmente porque neste local, predominam gramíneas e outras espécies espontâneas ainda recentes, típicas de uma vegetação de Cerrado. Segundo de Brito Sales et. al (2023), a principal entrada de Ca e Mg no solo é via intemperismo de silicatos e carbonatos. Assim, é mais provável, que o Ca no solo, seja proveniente da serapilheira, fato que justifica os maiores estoques desse elemento nos solos do cerrado em MV, onde a vegetação exerce papel essencial na manutenção do ecossistema e diversidade de espécies. Isso também é afirmado por Moraes (2013), que relata que os estoques desse elemento estão relacionados à vegetação presente em espécies arbustivas-arbóreas, típicas do bioma Cerrado e gramíneas, cujos sistemas radiculares exploraria de forma diferente a matriz do solo, alterando a disponibilidade de nutrientes e alterando a concentração de Ca.

Dessa forma, estima-se que uma maior competitividade de *L. salicifolia* foi exercida na região de MV em relação à essas outras espécies, e por não predominarem neste ambiente, foi preciso investir na arquitetura aérea, exibindo plantas mais robustas e com maiores parâmetros morfométricos, como: Hmax, Hpri e Diapi, uma vez que plantas mais altas foram visualizadas nesta região quando comparadas com a pouca competitividade exercida em LF.

Segundo Bueno (2012), os parâmetros mais explicativos na separação das populações estudadas de *L. ericoides* foram: Hmax, AFE e Diacop. Neste estudo, o principal parâmetro arquitetônico na separação das plantas, entre os dois diferentes ambientes estudados foi Hmax.

Embora Hpri e Hmax sejam parâmetros interessantes para avaliar populações de diferentes áreas, neste estudo, devido à alta dissimilaridade entre os indivíduos avaliados, isso não pôde ser evidenciado, devido à proximidade das duas regiões avaliadas.

O trabalho de Nessim (2008), destinou-se a descrever e comparar a arquitetura aérea de três populações de *L. salicifolia*, encontradas em campos rupestres na Serra do Cipó-MG, também em áreas próximas, mas com condições fitofisionômicas e edáficas diferenciadas. As variações nas relações morfométricas, entre os mesmos parâmetros arquitetônicos avaliados nas três populações, demonstram que cada substrato impõe pressões seletivas diferentes sobre *L. salicifolia*. Isso também foi visto neste estudo, onde diferenças edáficas nas populações de LF e MV foram observadas nas regiões de Cerrado *sensu stricto*, de Montes Claros-MG, sendo afirmadas através das análises de solo, que apesar de ácidos e pobres, influenciam diretamente na arquitetura área da planta, em parâmetros como Hmax, Hpri, Diapri, Inflo e Ram.

Essa variação morfométrica encontrada sugere, que as diferentes arquiteturas são respostas adaptativas às diversas condições edáficas em que a espécie habita. Entretanto, segundo Nessim (2008), esse padrão não pode ser generalizado. Sugerindo que alguns parâmetros morfométricos de *L. salicifolia* são mais plásticos, que outros, e que mesmo uma alta plasticidade fenotípica, não consegue exceder limites físicos elementares.

A partir do exposto nos parágrafos anteriores, segundo Nessim (2008), ele conclui que uma das características mais importantes para a biologia de *L. salicifolia*, é o número de ramos (Ram), enquanto neste estudo, Hmax, Hpri, Diapri, foram considerados os parâmetros mais representativos, seguidos de Inflo e Ram, quando correlacionados linearmente entre duas variáveis morfométricas, assegurando o sucesso reprodutivo da espécie e algumas vezes até a sua dominância em determinada área desfavorável. A diversidade de condições ambientais dentro do Bioma Cerrado contribui para uma ampla variedade de estratégias adaptativas de *L. salicifolia*, resultando em diferenças na sua arquitetura aérea.

Este é o primeiro estudo que avalia a arquitetura aérea da espécie em áreas de Cerrado *sensu stricto*, fora do campo rupestre, demonstrando que os parâmetros morfométricos, podem variar e influenciar na arquitetura aérea da espécie, superando as variações ambientais nos locais em que ocorre.

Apesar da importância dos estudos de morfologia e/ou arquitetura das plantas para compreender a sua filogenia, poucos estudos descrevem realmente a ligação entre filogenia e arquitetura (Sanoja 1992; Johnson 2003; Halle' 2004). Os estudos de arquitetura aérea por

terem uma abordagem multidisciplinar, levantam muitos questionamentos sobre a espécie, e essa combinação de diferentes abordagens, requer ainda muitos outros estudos para um melhor entendimento sobre a adaptação da planta.

Por fim, para complementação deste estudo, conforme cita Soares (2021), a elaboração da prancha botânica é um importante fator para a identificação de espécies raras ou em perigo de extinção, como é o caso de *L. salicifolia*, pois podem ajudar a preservar e auxiliar em informações precisas sobre essas plantas.

Conclusão

Foi possível concluir que atributos do solo influenciam na arquitetura aérea de *Lychnophora salicifolia*, assim como os processos erosivos exercidos em áreas de declive como ocorre na região de LF, também parecem favorecer a predominância da espécie.

Em relação as diferenças na arquitetura aérea das plantas avaliadas, *L. salicifolia* apresentou-se polimórfica e as variações arquitetônicas avaliadas apresentaram-se dissimilares através das análises estatísticas, evidenciando que os parâmetros morfométricos que mais diferiram entre as populações avaliadas foram: Hmax, Hpri, Diapri, nas duas regiões de Cerrado *sensu stricto* avaliadas. A existência de tipos arquitetônicos distintos, com especificidade de habitat, requer mais estudos em localidades mais distantes entre si, onde a espécie ocorre, para afirmar se estes são os parâmetros morfométricos que melhor explicam a biologia desta espécie.

A elaboração da prancha de fotos de campo, para a espécie *L. salicifolia*, nas áreas de LF e MV, permitiram uma divulgação da espécie ainda pouca conhecida em material publicado, permitindo acesso visual, conservação e conhecimento desta planta.

Referências Bibliográficas

- Barthélémy D, Caraglio Y (2007) Plant architecture: a dynamic, multilevel and comprehensive approach to plant form, structure and ontogeny. *Annals of Botany* 99: 375-407.
- Bueno AP (2012) Arquitetura aérea de *Lychnophora ericoides* Mart. (asteraceae) em complexos rupestres de quartzito e canga do quadrilátero ferrífero, sudeste do Brasil. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, MG.
- Bueno AP, Ribeiro SP, Antunes DS, Sousa HC (2017) Edaphically distinct habitats shape the crown architecture of *Lychnophora ericoides* Mart. (Asteraceae) on tropical mountain tops. *Plant Ecol* 218:773–784 <https://doi.org/10.1007/s11258-017-0728-8>.
- Claessen MEC (1997) Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. 212 p.
- Coile NC, Jones SB (1981) *Lychnophora* (Compositae: Vernoniae), a genus endemic to the Brazilian Planalto. *Brittonia*, v. 33, n. 4, p. 528-542.
- de Brito Sales G, Frazão LA, Fernandes LA, de Oliveira JC, e Veloso MDDM (2023) Efeito da degradação sobre os atributos do solo em ecossistemas de veredas no cerrado de Minas Gerais. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 43.
- Gonzaga APD, Miranda NA, Titon M, Machado ELM, de Souza Almeida H, e Leão B M (2021) Desinfestação e germinação in vitro de *Lychnophora pohlii*. *Advances in Forestry Science*, 8(1), 1253-1259
- Halle´ F 92004) *Eloge de la plante*. Paris: Editions du Seuil.
- Morais VA (2013) Carbon and biomass stocks in a fragment of Cerradão in Minas Gerais state, Brazil. *Cerne*, v.19, p.237245 <https://doi.org/10.1590/S010477602013000200007>.
- Nessim R (2008) Influência das condições edáficas sobre arquitetura aérea de *Lychnophora salicifolia* Mart. Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Minas Gerais.
- R Core Team (2023). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/> Acessado em 04 de janeiro de 2024
- Ribeiro AC, Guimarães P, Venegaz VHA (1999). Aproximação-Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. Editora UFV, Viçosa, Minas Gerais, 1999.
- Ribeiro MAS (2019). Estrutura e dinâmica populacional de *Lychnophora pinaster* Mart. em campos rupestres no sul de Minas Gerais. 46 p. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Lavras, MG.
- Santos, LC, Freixo, AA (2020). Ilustração científica: ensinando, aprendendo e desenhando botânica em uma escola família agrícola. *Cadernos CIMEAC*, v. 10, n. 2.

Semir J (1991) Revisão taxonômica de *Lychnophora* Mart. (Vernonieae: Compositae). Tese de doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP.

Semir J, Rezende AR, Monge M, Lopes NP (2011). As Arnicas endêmicas das Serras do Brasil: uma visão sobre a biologia e a química das espécies de *Lychnophora* (Asteraceae). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto-MG. 211 pp.

Soares, FGP (2021). Ilustração botânica: uma proposta de sinergia entre ciências e arte para a educação em ciências. Dissertação. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

Troeh FR, Thompson LM (2007). Solos e fertilidade do solo. Oxford: Blackwell Publishing.

Vieira RF (1999) Conservation of medicinal and aromatic plants in Brazil. In Perspectives on New Crops and New Uses; Janick, J., Ed.; ASHS Press: Alexandria, VA, USA, pp. 152–159.

Wolfe LM, Mazer SJ (2005) Responses to environmental heterogeneity: fitness consequences of phenotypic stability vs. sensitivity in wild radish (*Raphanus sativus*: Brassicaceae). International Journal of Plant Sciences 166: 631–640.

CONCLUSÃO GERAL

A associação do teste de raio X com o teste de germinação é uma metodologia viável para a seleção de cipselas de *Lychnophora salicifolia*, sendo não destrutivo e de fácil aplicabilidade. Os resultados mostraram que cipselas identificadas como cheias pelo teste de raios X germinaram, mas algumas remanescentes, embora não tenham germinado, apresentaram viabilidade pelo teste de tetrazólio. No entanto, são necessários mais estudos para compreender por que algumas cipselas cheias e viáveis não germinam.

Quanto às diferenças na arquitetura aérea de *L. salicifolia* nas regiões estudadas, os atributos do solo apresentaram poucas diferenças entre as populações estudadas, porém, os parâmetros de arquitetura aérea como: altura máxima, altura do ramo principal e diâmetro do ramo principal são parâmetros que apesar das poucas variações apresentadas, entre as populações de Lagoa de Freitas e Morro Vermelho podem influenciar em padrões de arquitetura aérea de *L. salicifolia*.

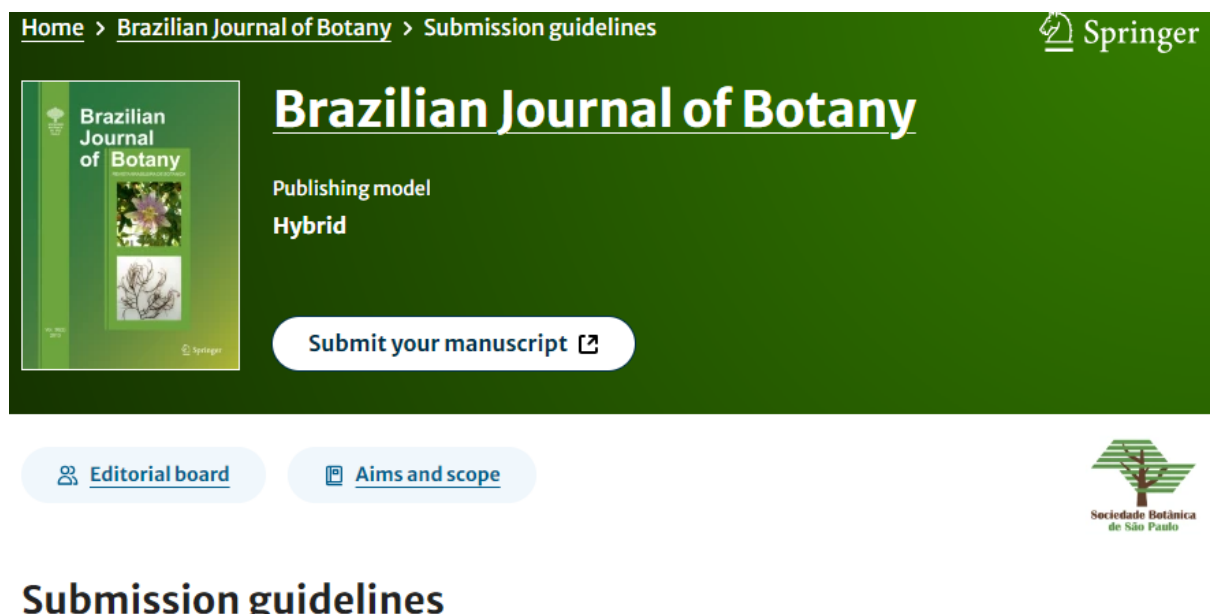
O estudo também evidenciou que, o declive do relevo e processos erosivos constantes podem determinar um papel crucial na dominância das populações de *Lychnophora salicifolia* a se adaptarem em ambientes inóspitos. Devido à plasticidade fenotípica e resistência da planta a diferentes ambientes, são necessários estudos mais aprofundados sobre sua biologia, especialmente em áreas de estudo mais distantes entre si, nos ambientes em que a espécie ocorre para entender melhor os parâmetros morfométricos que explicam essa polimorfia.

A elaboração da prancha de fotos de campo para a espécie *L. salicifolia*, nas áreas de LF e MV, mostrou-se uma ferramenta eficiente desta espécie ainda pouco conhecida e divulgada em material científico.

Todas as repostas obtidas podem ser usadas como parâmetros na seleção de cipselas de *Lychnophora salicifolia* e na interpretação dos resultados em estudos da biologia e entendimento da propagação desta espécie nativa ainda pouco estudada.

ANEXO 1

Normas da Revista



Home > [Brazilian Journal of Botany](#) > Submission guidelines

Springer

Brazilian Journal of Botany

Publishing model
Hybrid

[Submit your manuscript](#)

[Editorial board](#) [Aims and scope](#)

Sociedade Botânica de São Paulo

Submission guidelines

Instructions for Authors

Article types

Cover letter is mandatory for all articles types.

Original articles should not exceed 30 doubled-spaced pages, including tables, figures, and references. Longer articles might be considered, provided they are concise and its length is needed to properly convey its results. The sections of original articles should be:

- Abstract
- Introduction
- Material and methods
- Results
- Discussion
- Authors' contributions
- Acknowledgements
- References

Short Communications are handled rather flexible. The average article in this category has 4–6 printed pages (including references) and the "Results" and "Discussion" section are usually combined.

Reviews should be submitted by invitation only. Reviews should not exceed 15,000 words, 150 references and 15 visual elements (figures, tables, diagrams etc).

Scientific Style

- Please always use internationally accepted signs and symbols for units (SI units).
- Genus and species names should be in italics.
- Taxonomic authorities should be cited for all taxon names at the species level rank and below at their first usage in the text.
- Please use the standard mathematical notation for formulae, symbols etc.
- For compound units, use exponentiation; do not slash. Example: mg day⁻¹ instead of mg/day, μmol min⁻¹ instead of μmol/min)
- Use Italics for single letters that denote mathematical constants, variables, and unknown quantities
- Use roman/upright for numerals, operators, and punctuation, and commonly defined functions or abbreviations, e.g., cos, det, e or exp, lim, log, max, min, sin, tan, d (for derivative)
- Use bold for vectors, tensors, and matrices.
- Manuscripts submitted to the journal are expected to adhere to internationally accepted nomenclature for receptors (www.guidetopharmacology.org) and enzymes (International Union of Biochemistry and Molecular Biology)

Manuscript Submission

Submission of a manuscript implies: that the work described has not been published before; that it is not under consideration for publication anywhere else; that its publication has been approved by all co-authors, if any, as well as by the responsible authorities – tacitly or explicitly – at the institute where the work has been carried out. The publisher will not be held legally responsible should there be any claims for compensation.

Permissions

Authors wishing to include figures, tables, or text passages that have already been published elsewhere are required to obtain permission from the copyright owner(s) for both the print and online format and to include evidence that such permission has been granted when submitting their papers. Any material received without such evidence will be assumed to originate from the authors.

Online Submission

Please follow the hyperlink “Submit manuscript” on the right and upload all of your manuscript files following the instructions given on the screen.

Please ensure you provide all relevant editable source files. Failing to submit these source files might cause unnecessary delays in the review and production process.

Title page

Please make sure your title page contains the following information

Title

The title should be concise and informative.

Author information

- The name(s) of the author(s)
- A concise and informative title
- The affiliation(s) of the author(s), i.e. institution, (department), city, (state), country
- A clear indication and an active e-mail address of the corresponding author
- If available, the 16-digit [ORCID](#) of the author(s)

If address information is provided with the affiliation(s) it will also be published.

For authors that are (temporarily) unaffiliated we will only capture their city and country of residence, not their e-mail address unless specifically requested.

Large Language Models (LLMs), such as ChatGPT, do not currently satisfy our authorship criteria. Notably an attribution of authorship carries with it accountability for the work, which cannot be effectively applied to LLMs. Use of an LLM should be properly documented in the Methods section (and if a Methods section is not available, in a suitable alternative part) of the manuscript.

Abstract

Please provide an abstract of 150 to 250 words. The abstract should not contain any undefined abbreviations or unspecified references.

Please note: For some articles (particularly, systematic reviews and original research articles), 250 words may not be sufficient to provide all necessary information in the abstract. Therefore, the abstract length can be increased from the 250-word limit (to up to 450 words) if the topic dictates, and to allow full compliance with the relevant reporting guidelines.

Keywords

Please provide 4 to 6 keywords which can be used for indexing purposes.

Statements and Declarations

The following statements should be included under the heading "Statements and Declarations" for inclusion in the published paper. Please note that submissions that do not include relevant declarations will be returned as incomplete.

- **Competing Interests:** Authors are required to disclose financial or non-financial interests that are directly or indirectly related to the work submitted for publication. Please refer to "Competing Interests and Funding" below for more information on how to complete this section.

Text Formatting

Manuscripts should be submitted in Word.

- Use a normal, plain font (e.g., 10-point Times Roman) for text.
- Use italics for emphasis.
- Use the automatic page numbering function to number the pages.
- Do not use field functions.
- Use tab stops or other commands for indents, not the space bar.
- Use the table function, not spreadsheets, to make tables.
- Use the equation editor or MathType for equations.
- Save your file in docx format (Word 2007 or higher) or doc format (older Word versions).

Manuscripts with mathematical content can also be submitted in LaTeX. We recommend using [Springer Nature's LaTeX template](#).

Headings

Please use no more than three levels of displayed headings.

Abbreviations

Abbreviations should be defined at first mention and used consistently thereafter.

Footnotes

Footnotes can be used to give additional information, which may include the citation of a reference included in the reference list. They should not consist solely of a reference citation, and they should never include the bibliographic details of a reference. They should also not contain any figures or tables.

Footnotes to the text are numbered consecutively; those to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data). Footnotes to the title or the authors of the article are not given reference symbols.

Always use footnotes instead of endnotes.

Acknowledgments

Acknowledgments of people, grants, funds, etc. should be placed in a separate section on the title page. The names of funding organizations should be written in full.

References

Citation

Cite references in the text by name and year in parentheses. Some examples:

- Negotiation research spans many disciplines (Thompson 1990).
- This result was later contradicted by Becker and Seligman (1996).
- This effect has been widely studied (Abbott 1991; Barakat et al.).

Reference list

The list of references should only include works that are cited in the text and that have been published or accepted for publication. Personal communications and unpublished works should only be mentioned in the text. Do not use footnotes or endnotes as a substitute for a reference list.

Reference list entries should be alphabetized by the last names of the first author of each work. Please alphabetize according to the following rules: 1) For one author, by name of author, then chronologically; 2) For two authors, by name of author, then name of coauthor, then chronologically; 3) For more than two authors, by name of first author, then chronologically.

- Journal article

Gamelin FX, Baquet G, Berthoin S, Thevenet D, Nourry C, Nottin S, Bosquet L (2009) Effect of high intensity intermittent training on heart rate variability in prepubescent children. *Eur J Appl Physiol* 105:731-738. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0955-8>. Ideally, the names of all authors should be provided, but the usage of “et al.” in long author lists will also be accepted: Smith J, Jones M Jr, Houghton L et al. (1999) Future of health insurance. *N Engl J Med* 965:325–329

- Article by DOI

Slifka MK, Whitton JL (2000) Clinical implications of dysregulated cytokine production. *J Mol Med*. <https://doi.org/10.1007/s001090000086>

- Book

South J, Blass B (2001) *The future of modern genomics*. Blackwell, London

- Book chapter

Brown B, Aaron M (2001) The politics of nature. In: Smith J (ed) The rise of modern genomics, 3rd edn. Wiley, New York, pp 230-257

- Online document

Cartwright J (2007) Big stars have weather too. IOP Publishing PhysicsWeb. <http://physicsweb.org/articles/news/11/6/16/1>. Accessed 26 June 2007

- Dissertation

Trent JW (1975) Experimental acute renal failure. Dissertation, University of California

Always use the standard abbreviation of a journal's name according to the ISSN List of Title Word Abbreviations, see

[ISSN.org LTWA](http://www.issn.org/LTWA)

If you are unsure, please use the full journal title.

Tables

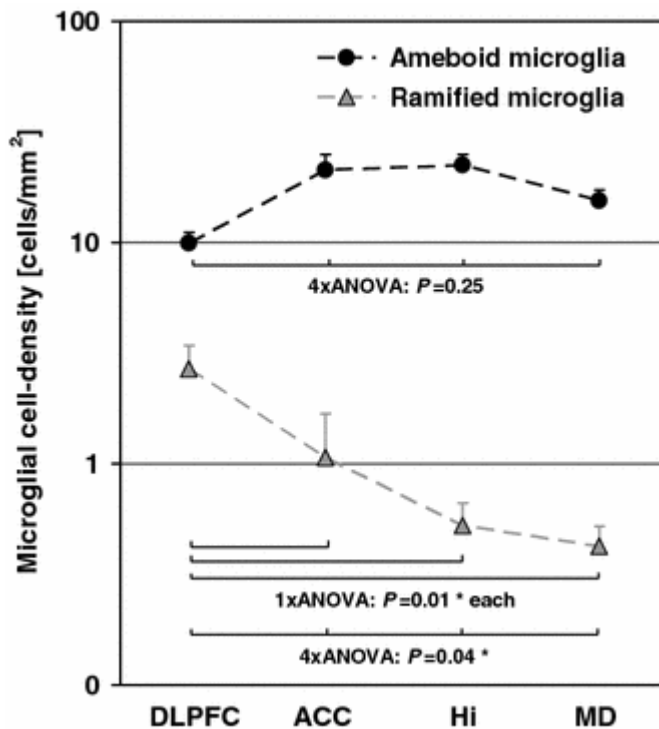
- All tables are to be numbered using Arabic numerals.
- Tables should always be cited in text in consecutive numerical order.
- For each table, please supply a table caption (title) explaining the components of the table.
- Identify any previously published material by giving the original source in the form of a reference at the end of the table caption.
- Footnotes to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data) and included beneath the table body.

Artwork and Illustrations Guidelines

Electronic Figure Submission

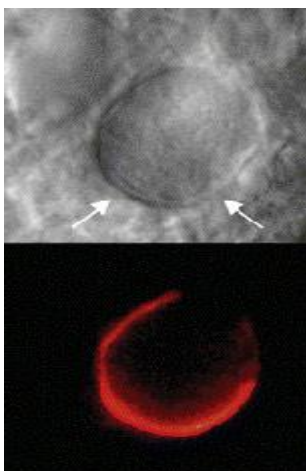
- Supply all figures electronically.
- Indicate what graphics program was used to create the artwork.
- For vector graphics, the preferred format is EPS; for halftones, please use TIFF format. MS Office files are also acceptable.
- Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.
- Name your figure files with "Fig" and the figure number, e.g., Fig1.eps.

Line Art



- Definition: Black and white graphic with no shading.
- Do not use faint lines and/or lettering and check that all lines and lettering within the figures are legible at final size.
- All lines should be at least 0.1 mm (0.3 pt) wide.
- Scanned line drawings and line drawings in bitmap format should have a minimum resolution of 1200 dpi.
- Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.

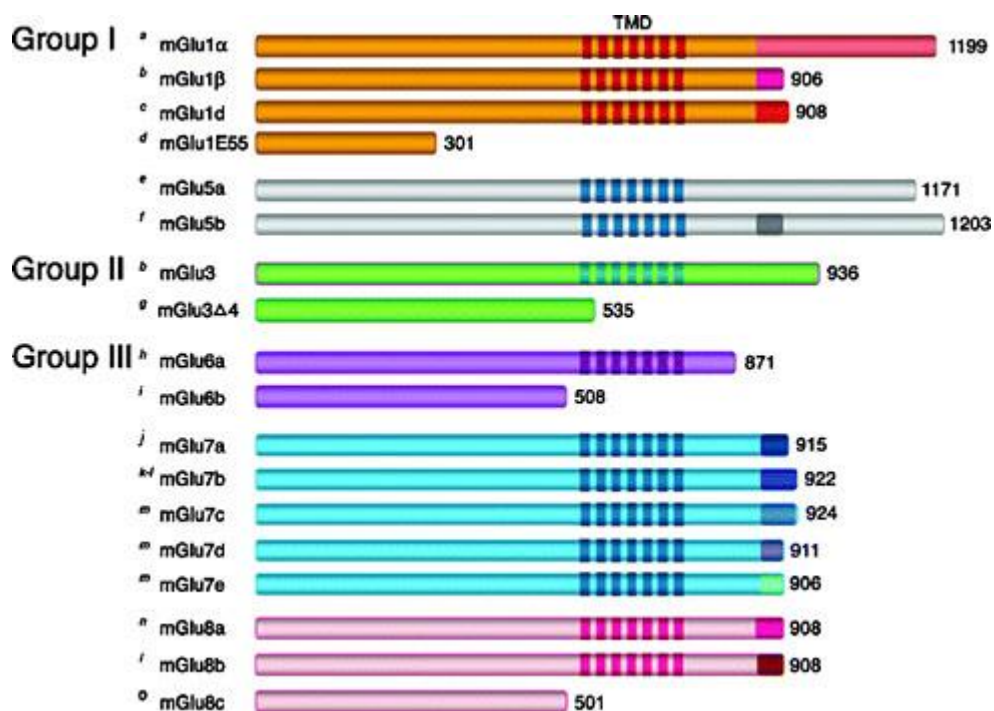
Halftone Art



- Definition: Photographs, drawings, or paintings with fine shading, etc.

- If any magnification is used in the photographs, indicate this by using scale bars within the figures themselves.
- Halftones should have a minimum resolution of 300 dpi.

Combination Art



- Definition: a combination of halftone and line art, e.g., halftones containing line drawing, extensive lettering, color diagrams, etc.
- Combination artwork should have a minimum resolution of 600 dpi.

Color Art

- Color art is free of charge for print and online publication.
- Color illustrations should be submitted as RGB.

Figure Lettering

- To add lettering, it is best to use Helvetica or Arial (sans serif fonts).
- Keep lettering consistently sized throughout your final-sized artwork, usually about 2–3 mm (8–12 pt).
- Variance of type size within an illustration should be minimal, e.g., do not use 8-pt type on an axis and 20-pt type for the axis label.
- Avoid effects such as shading, outline letters, etc.
- Do not include titles or captions within your illustrations.

Figure Numbering

- All figures are to be numbered using Arabic numerals.
- Figures should always be cited in text in consecutive numerical order.
- Figure parts should be denoted by lowercase letters (a, b, c, etc.).
- If an appendix appears in your article and it contains one or more figures, continue the consecutive numbering of the main text. Do not number the appendix figures, "A1, A2, A3, etc." Figures in online appendices [Supplementary Information (SI)] should, however, be numbered separately.

Figure Captions

- Each figure should have a concise caption describing accurately what the figure depicts. Include the captions in the text file of the manuscript, not in the figure file.
- Figure captions begin with the term **Fig.** in bold type, followed by the figure number, also in bold type.
- No punctuation is to be included after the number, nor is any punctuation to be placed at the end of the caption.
- Identify all elements found in the figure in the figure caption; and use boxes, circles, etc., as coordinate points in graphs.
- Identify previously published material by giving the original source in the form of a reference citation at the end of the figure caption.

Figure Placement and Size

- When preparing your figures, size figures to fit in the column width.
- For large-sized journals the figures should be 84 mm (for double-column text areas), or 174 mm (for single-column text areas) wide and not higher than 234 mm.
- For small-sized journals, the figures should be 119 mm wide and not higher than 195 mm.

Permissions

If you include figures that have already been published elsewhere, you must obtain permission from the copyright owner(s) for both the print and online format. Please be aware that some publishers do not grant electronic rights for free and that Springer will not be able to refund any costs that may have occurred to receive these permissions. In such cases, material from other sources should be used.

Accessibility

In order to give people of all abilities and disabilities access to the content of your figures, please make sure that:

- All figures have descriptive captions (blind users could then use a text-to-speech software or a text-to-Braille hardware)
- Patterns are used instead of or in addition to colors for conveying information (color-blind users would then be able to distinguish the visual elements)

- Any figure lettering has a contrast ratio of at least 4.5:1

Supplementary Information (SI)

Springer accepts electronic multimedia files (animations, movies, audio, etc.) and other supplementary files to be published online along with an article or a book chapter. This feature can add dimension to the author's article, as certain information cannot be printed or is more convenient in electronic form.

Before submitting research datasets as Supplementary Information, authors should read the journal's Research data policy. We encourage research data to be archived in data repositories wherever possible.

ANEXO 2

Tabela de referência para interpretação de análise de solos						
Classes de interpretação para a acidez ativa						
pH em água						
Acidez muito elevada	Acidez elevada	Acidez média	Acidez fraca	Neutra	Alcalinidade fraca	Alcalinidade elevada
< 4,5	4,5 – 5,0	5,1 – 6,0	6,1 – 6,9	7,0	7,1 – 7,8	> 7,8
Classes de interpretação para a matéria orgânica e para o complexo de troca catiônica						
Atributos do solo	Unidade	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto
COS	dag/kg	< 0,40	0,41 - 1,16	1,17 - 2,32	2,33 - 4,06	> 4,06
MOS	dag/kg	< 0,70	0,71 - 2,00	2,01 - 4,00	4,01 - 7,00	> 7,00
K	mg/dm ³	< 15,0	16,0 - 40,0	41,0 - 70,0	71,0 - 120,0	> 120,0
Ca	cmol _c /dm ³	< 0,40	0,41 - 1,20	1,21 - 2,40	2,41 - 4,00	> 4,00
Mg	cmol _c /dm ³	< 0,15	0,16 - 0,45	0,46 - 0,90	0,91 - 1,50	> 1,50
Al	cmol _c /dm ³	< 0,20	0,21 - 0,50	0,51 - 1,00	1,01 - 2,00	> 2,00
SB	cmol _c /dm ³	< 0,60	0,61 - 1,80	1,81 - 3,60	3,61 - 6,00	> 6,00
H+Al	cmol _c /dm ³	< 1,00	1,01 - 2,50	2,51 - 5,00	5,01 - 9,00	> 9,00
CTC t	cmol _c /dm ³	< 0,80	0,81 - 2,30	2,31 - 4,60	4,61 - 8,00	> 8,00
CTC T	cmol _c /dm ³	< 1,60	1,61 - 4,30	4,31 - 8,60	8,61 - 15,00	> 15,00
m	%	< 15,0	15,1 - 30,0	30,1 - 50,0	50,1 - 75,0	> 75,0
V	%	< 20,0	20,1 - 40,0	40,1 - 60,0	60,1 - 80,0	> 80,0
Classes de interpretação para P disponível em função do P-remanescente						
P disponível - Mehlich I (mg dm ⁻³)						
Valor (P-rem)	Unidade	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
0 a 4	mg/L	< 3,0	3,1 - 4,3	4,4 - 6,0 ³	6,1 - 9,0	> 9,0
4 a 10	mg/L	< 4,0	4,1 - 6,0	6,1 - 8,3	8,4 - 12,5	> 12,5
10 a 19	mg/L	< 6,0	6,1 - 8,3	8,4 - 11,4	11,5 - 17,5	> 17,5
19 a 30	mg/L	< 8,0	8,1 - 11,4	11,5 - 15,8	15,9 - 24,0	> 24,0
30 a 44	mg/L	< 11,0	11,1 - 15,8	15,9 - 21,8	21,9 - 33,0	> 33,0
44 a 60	mg/L	< 15,0	15,1 - 21,8	21,9 - 30,0	30,1 - 45,0	> 45,0
Classes de textura do solo em função do teor de argila						
Textura						
	Unidade	Arenosa	Média	Argilosa	Muito Argilosa	
Argila	dag/kg	0 - 15	15,1 - 35	35,1 - 60	> 60	
Classes de capacidade de adsorção de fósforo do solo em função do P remanescente (P-rem)						
	Unidade	Muito alta	Alta	Media	Baixa	Muito baixa
P-rem*	mg/L	0 - 10	10,1 - 20	20,1 - 30	30,1 - 45	45,1 - 60

*O P-rem é o nome atribuído a um teste de laboratório para estimar a capacidade de adsorção de P do solo. O P-rem corresponde ao P que se encontra em equilíbrio na solução em relação à concentração de P que foi adicionado ao solo no laboratório. É utilizado para classificar o P Mehlich I quanto disponibilidade.

Adaptado de Ribeiro et al, 1999.