



COLONIZAÇÃO E ATRIBUTOS ECOLÓGICOS DE PLANTAS EM CAVAS DE MINÉRIO DE FERRO ABANDONADAS EM CAMPO RUPESTRE FERRUGINOSO

Walisson Kenedy-Siqueira^{1,2,3*} , Dario Caminha Paiva⁴ , Michel Jacoby Pereira Alves⁵ ,
Jessica Cunha-Blum²  & Geraldo Wilson Fernandes^{1,2,3*} 

¹ Universidade Estadual de Montes Claros, Campus Universitário Professor Darcy Ribeiro, Av. Rui Braga, S/Nº – Vila Mauricéia, 39401-089, Montes Claros, Minas Gerais, Brasil.

² Universidade Federal de Minas Gerais, Laboratório de Ecologia Evolutiva e Biodiversidade (LEEB), Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 – Pampulha, 31270-901, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

³ Centro de Conhecimento em Biodiversidade, Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 – Pampulha, 31270-901, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

⁴ Florida International University, 11200 SW 8th St, Florida International University, Miami, Florida, Estados Unidos.

⁵ Universidade Federal do Pará (UFPA), Rua Augusto Corrêa, 01 – Guamá, 66075, Belém, Pará, Brasil.

E-mails: kenedy.siqueira@gmail.com (*autor correspondente), dariocaminhapaiva@gmail.com, micheljacobypereiraalves@gmail.com, jessicacblum@gmail.com, gw.gernandes@gmail.com (*autor correspondente).

Resumo: Conhecer a ecologia da comunidade de plantas que colonizam áreas onde algum impacto foi cessado é importante para estabelecer pontos iniciais de restauração ecológica em áreas impactadas. O objetivo desse estudo foi elaborar um levantamento florístico e caracterizar ecologicamente as espécies de plantas encontradas em cavas abandonadas de minério de ferro em campo rupestre ferruginoso. O levantamento florístico foi realizado em três cavas de mineração abandonadas no Quadrilátero Ferrífero do estado de Minas Gerais: Mina da Serrinha no município de Nova Ponte, Mina Taquaril no município de Nova Lima e Mina Lucape no município de Ouro Preto. As espécies amostradas foram categorizadas quanto às formas de vida, aos agentes de polinização e síndromes de dispersão preponderantes, de acordo com a literatura. No total, foram amostradas 75 espécies pertencentes a 48 gêneros e 19 famílias botânicas. A família Asteraceae foi a mais abundante. A forma de vida arbustiva foi a mais frequente. Os agentes polinizadores mais frequentes foram os insetos, enquanto a síndrome de dispersão de sementes preponderante foi anemocoria. As formas de vida, agentes de dispersão e síndrome de dispersão encontradas são aquelas predominantemente típicas de campo rupestre. Em suma, o conhecimento gerado neste estudo é crucial para o entendimento dos mecanismos de colonização em áreas com condições ambientais severas e restritivas, como as cavas abandonadas da mineração, além de servir de base para o desenvolvimento de estratégias eficazes de restauração ecológica nos campos rupestres.

Palavras-chave: canga; dispersão de sementes; entomofilia; Quadrilátero Ferrífero, regeneração natural.

PLANT COLONIZATION AND ECOLOGICAL TRAITS IN ABANDONED IRON ORE PITS IN FERRUGINOUS CAMPO RUPESTRE: It is crucial to understand the ecology of the plant community that has established itself in areas where human impact has ceased in order to establish initial points of ecological restoration in those impacted areas. Accordingly, the objective of this study was to develop a floristic survey and to characterize the plant species found in abandoned iron ore caves in campo rupestre ferruginoso from a

phylogenetic and ecological perspective. A floristic inventory was conducted in three abandoned mining pits in the Quadrilátero Ferrífero of Minas Gerais state: Serrinha Mine in Nova Ponte, Taquaril Mine in Nova Lima, and Lucape Mine in Ouro Preto. The sampled species were classified according to life forms, pollination agents, and predominant dispersal syndromes, as previously described in the literature. In total, 75 species belonging to 48 genera and 19 botanical families were sampled. The Asteraceae family was the most abundant, while the shrub life form was the most frequent. Insects were the most frequent pollinating agents, and anemocory was the predominant seed dispersal syndrome. These findings align with the typical life forms, dispersal agents, and dispersal syndrome observed in campo rupestre. In summary, this study's findings are essential for understanding colonization mechanisms in areas with severe and restrictive environmental conditions, such as abandoned mining pits. This knowledge is also crucial for developing effective ecological restoration strategies in campo rupestre.

Keywords: canga; seed dispersal; entomophily; Iron Quadrangle; natural regeneration.

INTRODUÇÃO

O campo rupestre ferruginoso é um dos ecossistemas brasileiros mais ameaçados devido, principalmente, à exploração de minérios de ferro e manganês, à criação de estradas associadas a essas regiões e ainda ao intenso desenvolvimento urbano (*e.g.* Jacobi *et al.* 2007, Jacobi & Carmo 2011, Fernandes *et al.* 2014, 2018). Essa exploração mineral frequentemente resulta na formação de cavas de mineração – depressões profundas ou escavações a céu aberto deixadas após a extração do minério – as quais, uma vez abandonadas, representam ambientes extremos com solos degradados, baixa fertilidade e condições microclimáticas severas (Fernandes *et al.* 2016a). Embora estudos de restauração tenham avançado no campo rupestre nos últimos anos (veja Fernandes *et al.* 2016a, b), o legado de degradação e a dificuldade para sua efetiva restauração são ainda grandes. Uma das principais barreiras à restauração tem sido o conhecimento rudimentar e fragmentado do funcionamento ecológico desses ambientes em termos de síndromes de características funcionais das espécies vegetais presentes (veja Scarano 2007, Jacobi & Carmo 2011, Negreiros *et al.* 2014) e a falta de estudos sobre ecossistema de referência (veja Fernandes *et al.* 2016a, Toma *et al.* 2023).

O campo rupestre ferruginoso está concentrado em sua maior extensão na região do quadrilátero ferrífero, estado de Minas Gerais (Carmo & Jacobi 2013). Geralmente, as áreas de canga se formam em ilhas de afloramentos rochosos e estão comumente associadas a topos de montanha, expostos a uma forte incidência de ventos e radiação ultravioleta.

Estas condições promovem baixas taxas de retenção de água, bem como aquecimento excessivo da superfície do solo (Conceição *et al.* 2007, Fernandes 2016b, Silveira *et al.* 2016). Adicionalmente, as áreas de canga, como o campo rupestre em geral, são altamente heterogêneas em relação a parâmetros edáficos (Jacobi *et al.* 2007, Carmo & Jacobi 2013). Nesse sentido, ao longo de poucos metros ocorrem mudanças abruptas na fertilidade e capacidade de retenção de água nos solos, o que causa a criação de diferentes micro-habitat favorecendo a coexistência de um grande número de espécies (Giulietti *et al.* 1997, Fernandes 2016a, b, Tameirão *et al.* 2021). A multiplicidade de estressores ambientais e a distribuição disjunta das cangas são importantes fatores que permitem o estabelecimento de um grande número de espécies, muitas vezes endêmicas (Alves & Kolbek 1994). Considerando a elevada importância biológica do campo rupestre ferruginoso, a grande vulnerabilidade desses ambientes devido a crescente conversão de uso do solo e a necessidade de medidas de sua restauração, é de extrema importância a criação de subsídios teóricos e práticos para a restaurar essas áreas.

O conhecimento ecológico da vegetação de campos rupestres ferruginosos é ainda mais incipiente quando se trata de padrões de estruturação e dinâmica das comunidades relacionados às formas de vida, síndromes de polinização e agentes dispersores das espécies estabelecidas após eventos de distúrbio. Nesse sentido, conhecer estas características ecológicas é de extrema importância para a adotar medidas de restauração da canga e da conservação desses locais (veja Conceição *et al.* 2007). No campo rupestre

ferruginoso é comum que a dispersão de sementes seja feita de forma a restringir a distância devido ao ambiente altamente restritivo e heterogêneo (Hopper 2009, Silveira *et al.* 2016). As espécies que possuem mecanismos para dispersar as sementes longe da planta mãe têm mais chances de chegar a um novo ambiente, com características edáficas e microclimáticas muito distintas daquelas onde a espécie se desenvolveu, prejudicando o desenvolvimento do indivíduo. Dessa forma, são encontradas frequentemente nas cangas espécies com sementes de baixo peso e tamanho, bem como com a presença de estruturas como alas (Jacobi & Carmo 2011). Estas características facilitam a dispersão anemocórica e autocórica (ver Leishman *et al.* 1995, Makoto & Wilson 2019), e são muitas vezes associadas com espécies de crescimento relativamente mais rápido e de menor porte (*e.g.*, espécies herbáceas e arbustos) (Turnbull *et al.* 2008, Marcilio-Silva *et al.* 2016). Por outro lado, espécies com dispersão de sementes feitas por animais são encontradas em frequência relativamente menor em áreas de campo rupestre ferruginoso (Jacobi & Carmo 2011). Geralmente, espécies com síndromes de dispersão zoocóricas conseguem se estabelecer em locais relativamente mais distantes da planta mãe. Essas espécies normalmente apresentam sementes maiores e fruto com pericarpo desenvolvido (Bolmgren & Eriksson 2005, Salazar *et al.* 2012), muitas vezes relacionadas a espécies de crescimento relativamente mais lento e de maior porte (espécies arbóreas) (Turnbull *et al.* 2008, Salazar *et al.* 2012).

Síndromes de polinização mediadas por animais são bastantes comuns em campos rupestres (Conceição *et al.* 2007, Jacobi & Carmo 2011, Silveira *et al.* 2016). Uma das possíveis explicações para esse padrão é a tendência de as espécies presentes nesse tipo de ecossistema necessitarem de mecanismos para garantir a polinização cruzada (Hopper 2009, Silveira *et al.* 2016). Como a dispersão é normalmente feita a curtas distâncias, são necessárias alternativas para se assegurar a troca de genes entre indivíduos de uma mesma espécie. Nesse sentido, a polinização feita por animais aumenta as chances de troca de gametas entre indivíduos distantes um dos outros. A síndrome de polinização mediada por animais em cangas é associada a diferentes tipos de formas de vida, como espécies herbáceas, arbustivas e

arbóreas, bem como em habitats diferentes (Jacobi & Carmo 2011). Assim, esperamos encontrar em áreas de campo rupestre ferruginoso espécies preponderantemente dispersas pelo vento, mas polinizadas por animais (Silveira *et al.* 2016).

Dada a dificuldade de entender a possível existência de uma dinâmica de sucessão ecológica em ambientes restritivos como cavas de mineração, é importante conhecer as características ecológicas mais frequentes nessas áreas no início do período de colonização. Assim, o presente estudo tem como objetivo: i) listar as espécies encontradas em algumas cavas de mineração de ferro abandonadas no quadrilátero ferrífero; ii) caracterizar as espécies quanto à origem (endêmica, nativa não endêmica, exótica), forma de vida e síndromes de polinização e dispersão predominantes. Nesse sentido, devido à grande quantidade de minas de ferro desativadas, o quadrilátero ferrífero em Minas Gerais representa uma ótima área de estudo para investigar os conjuntos de síndromes que caracterizam as estratégias ecológicas das espécies que colonizam este ambiente. Assim, o conhecimento gerado pode subsidiar ações de restauração ecologicamente mais fundamentadas, que considerem as estratégias ecológicas das espécies além de sua simples identidade taxonômica.

MATERIAIS E MÉTODOS

O levantamento florístico foi realizado em junho de 2005 em três cavas abandonadas pela atividade de mineração de ferro no estado de Minas Gerais, Brasil: Mina da Serrinha (20°10.27S, 43°59.6W) no município de Brumadinho; Mina Taquaril (19°56.40S, 43°51.32W) no município de Nova Lima; e Mina Lucape (20°26'05.13S, 043°49'31.9W) no município de Ouro Preto. O tempo exato de abandono das atividades de extração anterior à amostragem não pôde ser determinado devido à inacessibilidade dos relatórios ambientais. As três áreas estão localizadas no Quadrilátero Ferrífero, em vegetação de campo rupestre ferruginoso (Figura 1). As localidades têm o clima classificado predominantemente como Cwa de acordo com a classificação de Köppen, apresentando duas estações climáticas bem definidas, uma seca (maio a setembro) e uma chuvosa (outubro a abril) (Rocha *et al.* 2016).

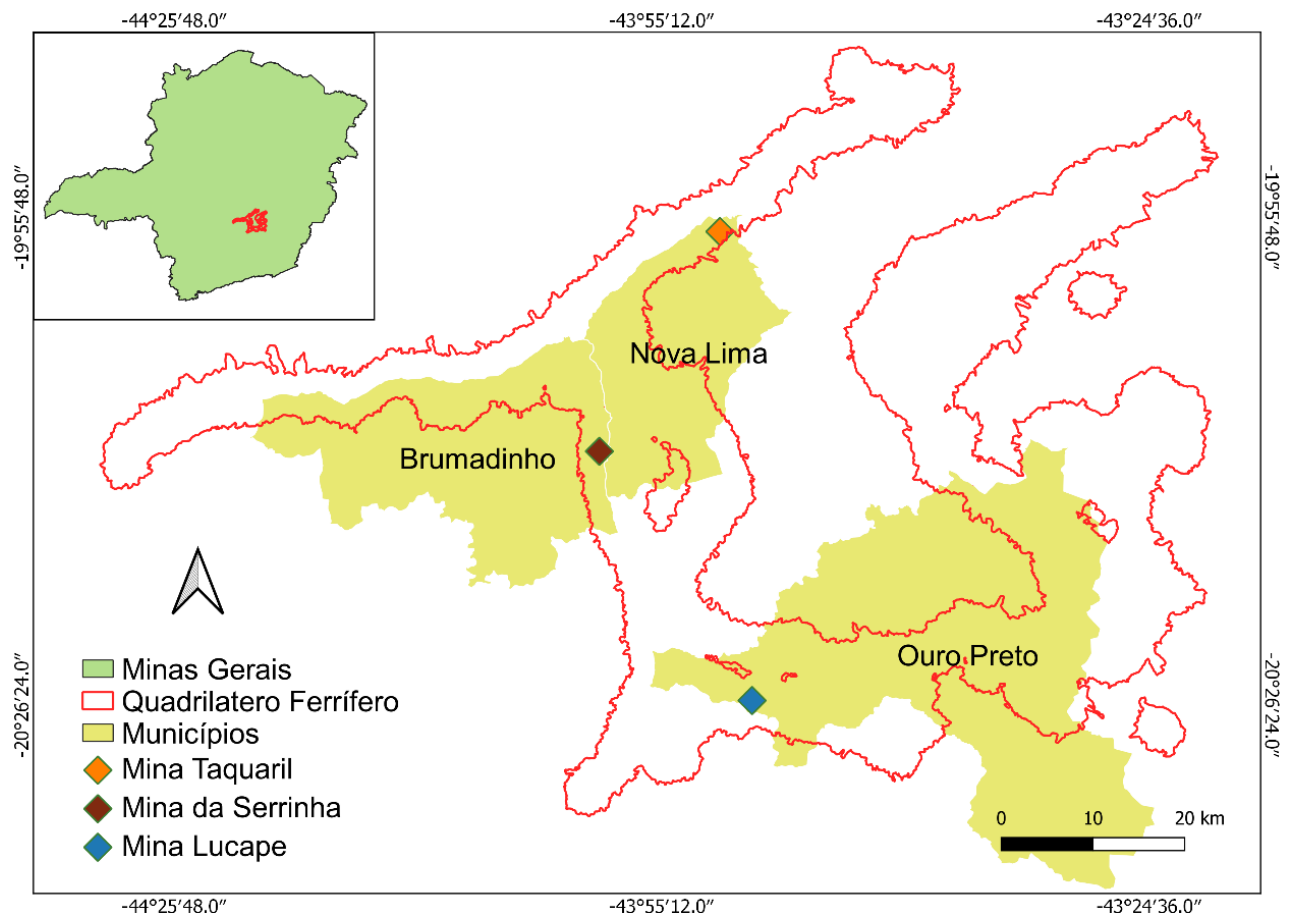


Figura 1. Localização geográfica das minas abandonadas de Lucape, Serrinha e Taquaril amostradas no Quadrilátero Ferrífero no estado de Minas Gerais, Brasil. Elaborado por Michel Jacoby Pereira Alves (2023).

Figure 1. Geographic location of the abandoned Lucape, Serrinha, and Taquaril mines sampled in the Iron Quadrangle in the state of Minas Gerais, Brazil. Prepared by Michel Jacoby Pereira Alves (2023).

O levantamento florístico qualitativo foi realizado por meio de caminhadas assistêmicas cobrindo a extensão total acessível de cada cava. Devido a essa abordagem, não foram estabelecidas parcelas e a área amostral não foi padronizada entre os locais. Algumas espécies foram identificadas em campo, mas a maioria do material foi herborizada e enviada a botânicos especialistas para identificação. As exsicatas foram depositadas no acervo do Laboratório de Ecologia Evolutiva e Biodiversidade da Universidade Federal de Minas Gerais. As nomenclaturas foram atualizadas por meio de buscas na plataforma Flora do Brasil (REFLORA 2023). Ainda pela plataforma, a origem das espécies foi determinada de acordo com o nível de endemismo das plantas: endêmica (espécie nativa do Brasil que ocorre apenas na vegetação de

“campos rupestres” e/ou “afloramentos rochosos”); não endêmica (espécie nativa do Brasil que ocorre em outras vegetações além daquelas definidas no item anterior); exótica (espécie de origem externa ao Brasil); e indeterminada (indivíduo cuja espécie não pôde ser identificada). A classificação quanto ao grau de endemismo também foi verificada por consulta a especialistas.

A partir da lista de espécies criada do levantamento florístico, foram realizadas buscas na literatura para categorizar as formas de vida entre arbórea, herbácea ou arbustiva (arbustos e subarbustos); os agentes preponderantes da polinização; e as síndromes de preponderantes da dispersão. As buscas foram feitas nas plataformas “Google Scholar” e “Web of Science”, com a utilização dos termos “*plant life forms*”, “*pollination syndrome*”

e “dispersion syndrome”, seguido do nome de cada espécie. As variantes das palavras em português também foram buscadas.

Os cálculos das frequências e a construção dos gráficos foram realizados no *software* R, utilizando os pacotes emmeas e ggplot2 (R core team 2025).

RESULTADOS

Um total de 73 espécies de plantas pertencentes a 46 gêneros e 19 famílias botânicas foram registradas nas três cavas abandonadas (Tabela 1, Figura 2). A família Asteraceae foi a mais frequente nas áreas amostradas representando 35,6% das espécies (26 espécies), seguida pelas famílias Fabaceae, Malpighiaceae e Melastomataceae com 8,2% (seis espécies) (Tabela 1, Figura 2). A espécie *Heteropterys umbellata* (Malpighiaceae) foi a única espécie que colonizou as três cavas abandonadas (Tabela 1).

No geral, a Mina da Serrinha foi colonizada por um maior número de espécies, sendo as espécies majoritariamente pertencentes à família Asteraceae, seguida de Melastomataceae e Malpighiaceae (Tabela 1, Figura 2). No total, a Mina da Serrinha foi colonizada por 27 espécies exclusivas (Tabela 1), dentre elas, *Ruellia densa* (Acanthaceae).

O segundo local com maior número de espécies foi a Mina Taquaril, sendo colonizada majoritariamente por espécies da família Asteraceae, seguida de Fabaceae e Malpighiaceae (Tabela 1, Figura 2). No total, a Mina Taquaril foi colonizada por 16 espécies exclusivas (Tabela 1), dentre elas, *Salvertia convallariodora* (Vochysiaceae) e *Annona coriacea* (Annonaceae).

A Mina Lucape foi colonizada pelo menor número de espécies, sendo colonizada majoritariamente por espécies da família Malpighiaceae e Asteraceae

Tabela 1. Lista das espécies de plantas observadas nas cavas de minério abandonadas no quadrilátero ferrífero (estado de Minas Gerais, Brasil) e suas características ecológicas. Forma de vida, Sínd. Poli. = tipo de polinização preponderante (Zoo = Zoofilia, Entomo = Entomofilia), Sínd. Disp. = agentes dispersores preponderantes (Anemo = Anemocoria, Auto = Autocoria, Zooc = Zoocoria), Ocor. = Ocorrência das plantas (MS = Mina Serrinha, MT = Mina Taquaril, ML = Mina Lucape) e Origem (EN = Endêmica dos campos rupestres ou afloramentos rochosos, NN = Nativa do Brasil, mas não endêmica do campo rupestre ou afloramentos rochosos, EX = exótica, espécie de origem externa ao Brasil e IN = Origem indeterminada).

Table 1. List of plant species observed in the abandoned iron ore pits in the Iron Quadrangle (state of Minas Gerais, Brazil) and their ecological characteristics. Forma de vida = Life form, Sínd. Poli. = predominant pollination type (Zoo = Zoophily, Entomo = Entomophily), Sínd. Disp. = predominant dispersal agents (Anemo = Anemochory, Auto = Autochory, Zooc = Zochory), Occur. = Plant occurrence (MS = Serrinha Mine, MT = Taquaril Mine, ML = Lucape Mine) and Origem = Origin (EN = Endemic to rupestrian grasslands or rocky outcrops, NN = Native to Brazil, but not endemic to rupestrian grasslands or rocky outcrops, EX = exotic (alien species), species originating outside Brazil, and IN = Undetermined origin).

Família	Espécie	Forma de vida	Sínd. Poli.	Sínd. Disp.	Ocor.	Origem	Referência
Acanthaceae	<i>Ruellia densa</i> (Nees) Hiern	Herbácea	Zoo	Anemo	MS	NN	Pessoa 2012.
Annonaceae	<i>Annona coriacea</i> Mart.	Arbórea, Arbustiva	Entomo	Zooc	MT	EN	Gottsberger 1994, Lorenzi 2008, Peres 2016, Souza & Lorenzi 2012.
Asteraceae	<i>Achyrocline satureioides</i> (Lam.) DC.	Herbácea	Entomo	Anemo	MS	NN	Martens 2008.
Asteraceae	<i>Ageratum fastigiatum</i> (Gardner) R.M.King & H.Rob.	Herbácea	Entomo	Anemo	MS	NN	Da Silva Anunciação 2007, Martens 2008.

Tabela 1. continua na próxima página...

... **Tabela 1.** continua.

Família	Espécie	Forma de vida	Sínd. Poli.	Sínd. Disp.	Ocor.	Origem	Referência
Asteraceae	<i>Baccharis dracunculifolia</i> DC.	Arbustiva	Entomo	Anemo	MS	NN	Batalha & Mantovani 2000, Kissmann & Groth 1997, Lorenzi 2008, Mantovani & Martins 1993, Nesom 1988, Peres 2016, Silva <i>et al.</i> 2012.
Asteraceae	<i>Baccharis crispa</i> Spreng.	Herbácea	Entomo	Anemo	MS	EN	Kissmann & Groth 1997, Lorenzi 2008, Martens 2008, Nesom 1988, Souza & Lorenzi 2012.
Asteraceae	<i>Baccharis itatiaiae</i> Wawra	Arbustiva	Entomo	Anemo	MS	EN	Borges & Forzza 2008, Lorenzi 2008, Nesom 1988, Peres 2016, Souza & Lorenzi 2012.
Asteraceae	<i>Baccharis reticularia</i> DC.	Arbórea, Arbustiva	Zoo	Anemo	MS	EN	Nesom 1988.
Asteraceae	<i>Baccharis subdentata</i> DC.	Arbustiva	Entomo	Anemo	MS	EN	Amaral <i>et al.</i> 2013, Lorenzi 2008, Nesom 1988, Peres 2016, Souza & Lorenzi 2012.
Asteraceae	<i>Baccharis serrulata</i> (Lam.) Pers.	Arbustiva	Entomo	Anemo	MS	EN	Borges & Forzza 2008, Jacobi & Carmo 2011, Lorenzi 2008, Nesom 1988, Peres 2016, Souza & Lorenzi 2012.
Asteraceae	<i>Baccharis trinervis</i> Pers.	Arbustiva	Entomo	Anemo	MS	EN	Lorenzi 2008, Nesom 1988, Peres 2016, Souza & Lorenzi 2012, Xena de Enrech & Madriz 1994.
Asteraceae	<i>Calea clauseniana</i> Baker	Herbácea	Entomo	Anemo	ML	EN	Lorenzi 2008, Peres 2016, Souza & Lorenzi 2012.

Tabela 1. continua na próxima página...

... Tabela 1. continua.

Família	Espécie	Forma de vida	Sínd. Poli.	Sínd. Disp.	Ocor.	Origem	Referência
Asteraceae	<i>Chaptalia integerrima</i> (Vell.) Burkart	Herbácea	Entomo	Anemo	ML	NN	Freitas & Sazima 2006, Peres 2016, Souza & Lorenzi 2012.
Asteraceae	<i>Cyrtocymura scorpioides</i> (Lam.) H.Rob.	Herbácea	Entomo	Anemo	MS	NN	Jacobi & Carmo 2011, Junior & Mascarenhas 2001, Peres 2016, Souza & Lorenzi 2012.
Asteraceae	<i>Dasyphyllum sprengelianum</i> (Gardner) Cabrera	Arbustiva	Zoo	Anemo	MS	EN	Peres 2016, Souza & Lorenzi 2012, Vogel 2015.
Asteraceae	<i>Eremanthus elaeagnus</i> (Mart. ex DC.) Sch.Bip.	Arbustiva	Entomo	Anemo	MT	EN	Peres 2016.
Asteraceae	<i>Eremanthus erythropappus</i> (DC.) MacLeish	Arbórea, arbustiva	Entomo	Anemo	MT, ML	EN	Macleish 1987.
Asteraceae	<i>Eupatorium</i> sp. L.	Arbustiva	Entomo	Anemo	MT	IN	Amaral <i>et al.</i> 2013.
Asteraceae	<i>Lepidaploa rufogrisea</i> (A.St.-Hil.) H.Rob.	Herbácea	Entomo	Anemo	MT	EN	Salazar <i>et al.</i> 2012, Silva <i>et al.</i> 2012, Ormond <i>et al.</i> 2001.
Asteraceae	<i>Lychnophora pinaster</i> Mart.	Arbustiva	Entomo	Anemo	MS	EN	Martens 2008.
Asteraceae	<i>Mikania luetzelburgii</i> Mattf.	Arbustiva	Entomo	Anemo	MT	EN	Martens 2008, Souza & Lorenzi 2012.
Asteraceae	<i>Mikania officinalis</i> Mart.	Arbustiva	Entomo	Anemo	MT	EN	Lorenzi 2008, Peres 2016, Souza & Lorenzi 2012.
Asteraceae	<i>Mikania</i> sp.1 Willd.	Arbustiva	Entomo	Anemo	MS	IN	Lorenzi 2008, Peres 2016, Souza & Lorenzi 2012.
Asteraceae	<i>Mikania</i> sp.2 Willd.	Arbustiva	Entomo	Anemo	MS, MT	IN	Lorenzi 2008, Peres 2016, Souza & Lorenzi 2012.
Asteraceae	<i>Mikania</i> sp.3 Willd.	Arbustiva	Entomo	Anemo	MS	IN	Lorenzi 2008, Peres 2016, Souza & Lorenzi 2012.

Tabela 1. continua na próxima página...

... Tabela 1. continua.

Família	Espécie	Forma de vida	Sínd. Poli.	Sínd. Disp.	Ocor.	Origem	Referência
Asteraceae	<i>Pseudobrickellia brasiliensis</i> (Spreng.) R.M.King & H.Rob.	Herbácea	Entomo	Anemo	MS	NN	Funk <i>et al.</i> 2009, Lorenzi 2008, Martens 2008, Nesom 1988, Souza & Lorenzi 2012.
Asteraceae	<i>Sonchus asper</i> (L.) Hill	Herbácea	Entomo	Anemo	MS, MT	EX	Kissmann & Groth 1997.
Asteraceae	<i>Symphopappus</i> sp. Turcz.	Arbustiva	Entomo	Anemo	MS	IN	Peres 2016.
Asteraceae	<i>Lepidaploa rufogrisea</i> (A.St.-Hil.) H.Rob.	Arbustiva	Entomo	Anemo	MT	EN	Peres 2016.
Bignoniaceae	<i>Jacaranda micrantha</i> Cham.	Arbustiva	Zoo	Anemo	MT	EN	Peres 2016, Souza & Lorenzi 2012.
Bignoniaceae	<i>Handroanthus ochraceus</i> (Cham.) Mattos	Arbórea, arbustiva	Entomo	Anemo	ML	NN	Martens 2008, Peres 2016, Souza & Lorenzi 2012.
Boraginaceae	<i>Varronia curassavica</i> Jacq.	Arbustiva	Entomo	Zooc	ML	NN	Peres 2016, Ramirez 2005.
Calophyllaceae	<i>Kielmeyera coriacea</i> Mart. & Zucc.	Arbórea, Arbustiva	Entomo	Anemo	ML	EN	Martens 2008, Peres 2016.
Calophyllaceae	<i>Kielmeyera rosea</i> Mart. & Zucc.	Arbustiva	Entomo	Anemo	MS, MT	EN	Souza & Lorenzi 2012.
Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum campestre</i> A.St.-Hil.	Arbustiva	Entomo	Zooc	MS	EN	Peres 2016, Souza & Lorenzi 2012, Silva <i>et al.</i> 2012, Tannus <i>et al.</i> 2006.
Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum suberosum</i> A.St.-Hil.	Arbórea, Arbustiva	Entomo	Zooc	MT, ML	NN	Martens 2008, Peres 2016, Silva <i>et al.</i> 2012, Souza & Lorenzi 2012, Tannus <i>et al.</i> 2006.
Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum tortuosum</i> Mart.	Arbustiva	Entomo	Zooc	ML	NN	Peres 2016, Silva <i>et al.</i> 2012, Souza & Lorenzi 2012.
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia potentilloides</i> Boiss.	Herbácea	Entomo	Auto	MT	NN	Martens 2008, Peres 2016.
Euphorbiaceae	<i>Croton antisiphiliticus</i> Mart.	Arbustiva	Entomo	Zooc	ML	NN	Amaral <i>et al.</i> 2013 Peres, 2016.

Tabela 1. continua na próxima página...

... **Tabela 1.** continua.

Família	Espécie	Forma de vida	Sínd. Poli.	Sínd. Disp.	Ocor.	Origem	Referência
Euphorbiaceae	<i>Croton splendidus</i> Mart.	Arbustiva	Entomo	Zooc	MS	NN	Jacobi & Carmo 2011, Peres 2016.
Fabaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	Arbórea, Arbustiva	Entomo	Zooc	ML	NN	Peres 2016, Souza & Lorenzi 2012.
Fabaceae	<i>Crotalaria micans</i> Link	Arbustiva	Entomo	Auto	MT	NN	Kissmann & Groth 1997, Lorenzi 2008, Martens 2008, Peres 2016, Silva <i>et al.</i> 2012.
Fabaceae	<i>Dalbergia miscolobium</i> Benth.	Herbácea	Entomo	Anemo	MT	EN	Gottsberger & Silberbauer-Gottsberger 2006, Koschnitzk & Sazima 1997, Peres 2016, Souza & Lorenzi 2012.
Fabaceae	<i>Mimosa calodendron</i> Mart. ex Benth.	Arbustiva	Entomo	Zooc	MS, MT	EN	Dutra & Lima 2008, Souza & Lorenzi 2012.
Fabaceae	<i>Periandra mediterranea</i> (Vell.) Taub.	Arbustiva	Zoo	Auto	MS	EN	Gottsberger & Silberbauer-Gottsberger 2006, Martens 2008, Silva <i>et al.</i> 2012, Souza & Lorenzi 2012.
Fabaceae	<i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Coville	Arbórea, arbustiva	Entomo	Zooc	ML	NN	Barbosa & Sazima 2008, Felfil <i>et al.</i> 1999, Ishara & Maimoni-Rodella 2011, Peres 2016, Souza & Lorenzi 2012.
Lythraceae	<i>Diplusodon microphyllus</i> Pohl	Arbustiva	Entomo	Anemo	MS, MT	EN	Martens 2008, Peres 2016.
Malpighiaceae	<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth	Arbustiva	Entomo	Zooc	MT, ML	NN	Lorenzi 2008, Peres 2016, Souza & Lorenzi 2012.
Malpighiaceae	<i>Byrsonima pachyphylla</i> A.Juss.	Arbórea, Arbustiva	Entomo	Zooc	MS, ML	NN	Lorenzi 2008, Peres 2016, Souza & Lorenzi 2012.

Tabela 1. continua na próxima página...

... **Tabela 1.** continua.

Família	Espécie	Forma de vida	Sínd. Poli.	Sínd. Disp.	Ocor.	Origem	Referência
Malpighiaceae	<i>Heteropterys campestris</i> A.Juss.	Arbustiva	Entomo	Anemo	MT	EN	Jacobi & Carmo 2011, Martens 2008, Peres 2016, Souza & Lorenzi 2012.
Malpighiaceae	<i>Heteropterys umbellata</i> A.Juss.	Arbustiva	Entomo	Anemo	MS, MT, ML	EN	Ishara & Maimoni-Rodella 2011, Martens 2008, Peres 2016, Silva & Araújo 2012, Souza & Lorenzi 2012,
Malpighiaceae	<i>Peixotoa reticulata</i> Griseb.	Arbustiva	Entomo	Anemo	ML	EN	Martens 2008, Peres 2016, Souza & Lorenzi 2012.
Malpighiaceae	<i>Peixotoa tomentosa</i> A.Juss.	Arbustiva	Entomo	Anemo	MS	EN	Martens 2008, Silva <i>et al.</i> 2012, Souza & Lorenzi 2012.
Malvaceae	<i>Peltaea polymorpha</i> (A.St.-Hil.) Krapov. & Cristóbal	Herbácea	Entomo	Auto	ML	NN	Souza & Lorenzi 2012, Tannus <i>et al.</i> 2006.
Malvaceae	<i>Sida glaziovii</i> K. Schum.	Herbácea	Entomo	Zooc	MT	NN	Gottsberger & Silberbauer-Gottsberger 2006, Kissmann & Groth 1997, Lorenzi 2008, Martens 2008, Souza & Lorenzi 2012.
Malvaceae	<i>Sida rhombifolia</i> L.	Herbácea	Entomo	Zooc	MS	NN	Lorenzi 2008, Mitra 2010, Peres 2016, Souza & Lorenzi 2012.
Melastomataceae	<i>Miconia pepericarpa</i> DC.	Arbustiva	Entomo	Zooc	MS	EN	Gottsberger & Silberbauer-Gottsberger 2006.
Melastomataceae	<i>Pleroma candolleanum</i> (Mart. ex DC.) Triana	Arbórea, Arbustiva	Entomo	Anemo	MT	EN	Lorenzi 2012, Martens 2008, Souza & Peres 2016.

Tabela 1. continua na próxima página...

... Tabela 1. continua.

Família	Espécie	Forma de vida	Sínd. Poli.	Sínd. Disp.	Ocor.	Origem	Referência
Melastomataceae	<i>Pleroma cardinale</i> (Bonpl.) Triana	Arbustiva	Entomo	Auto	MS	EN	Lorenzi 2012, Martens 2008, Souza & Peres 2016.
Melastomataceae	<i>Pleroma granulosum</i> (Desr.) D. Don	Arbustiva	Entomo	Auto	MS	EN	Martens 2008, Souza & Lorenzi 2012, Peres 2016.
Melastomataceae	<i>Pleroma heteromallum</i> (D. Don) D. Don	Arbustiva	Entomo	Zooc	MS	EN	Martens 2008, Souza & Lorenzi 2012.
Melastomataceae	<i>Chaetogastra hieracioides</i> Schrank et Mart. ex. DC.	Arbustiva	Entomo	Auto	ML	NN	Peres, 2016.
Myrtaceae	<i>Psidium firmum</i> O. Berg	Arbustiva	Entomo	Zooc	ML	NN	Almeida <i>et al.</i> 2003, Amaral <i>et al.</i> 2013, Peres 2016, Souza & Lorenzi 2012.
Rubiaceae	<i>Borreria capitata</i> (Ruiz & Pav.) DC.	Arbustiva	Entomo	Auto	MS, ML	NN	Lorenzi 2008, Peres 2016, Souza & Lorenzi 2012, Tannus <i>et al.</i> 2006.
Rubiaceae	<i>Borreria verticillata</i> (L.) G. Mey.	Herbácea	Entomo	Auto	MS	NN	Lorenzi 2008, Maia-Silva <i>et al.</i> 2018, Peres 2016, Souza & Lorenzi 2012.
Rubiaceae	<i>Borreria</i> sp. G. Mey.	Arbustiva	Entomo	Auto	ML	IN	Lorenzi, 2008, Peres 2016, Souza & Lorenzi 2012.
Rubiaceae	<i>Palicourea rigida</i> Kunth	Arbustiva	Zoo	Zooc	MT	NN	Silva, 1995.
Salicaceae	<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	Arbórea, Arbustiva	Entomo	Zooc	MS, MT	NN	Peres 2016, Souza & Lorenzi 2012, Silva <i>et al.</i> 2012.
Solanaceae	<i>Solanum erianthum</i> D. Don.	Arbórea, Arbustiva	Entomo	Zooc	ML	EX	Ishara & Maimoni-Rodella 2011, Lorenzi 2008, Martens 2008, Peres 2016, Souza & Lorenzi 2012.

Tabela 1. continua na próxima página...

... Tabela 1. continua.

Família	Espécie	Forma de vida	Sínd. Poli.	Sínd. Disp.	Ocor.	Origem	Referência
Solanaceae	<i>Solanum palinacanthum</i> Dunal	Herbácea	Entomo	Zooc	ML	NN	De Carvalho <i>et al.</i> 2001, Martens 2008, Peres 2016, Souza & Lorenzi 2012.
Verbenaceae	<i>Lippia rotundifolia</i> Cham.	Arbustiva	Entomo	Auto	MT, ML	NN	Amaral <i>et al.</i> 2013, Martens 2008, Peres 2016, Souza & Lorenzi 2012.
Verbenaceae	<i>Lippia</i> sp.1 L.	Arbustiva	Entomo	Auto	MT	IN	Peres 2016, Souza & Lorenzi 2012.
Verbenaceae	<i>Lippia</i> sp.2 L.	Arbustiva	Entomo	Auto	ML	IN	Peres 2016, Souza & Lorenzi 2012.
Vochysiaceae	<i>Salvertia convallariodora</i> A.St.-Hil.	Arbórea, Arbustiva	Entomo	Anemo	MT	NN	Peres 2016, Souza & Lorenzi 2012, Silva <i>et al.</i> 2012.

(Tabela 1, Figura 2). No total, a Mina Lucape foi colonizada por 17 espécies exclusivas (Tabela 1), dentre elas, *Solanum erianthum*, *S. palinacanthum* (Solanaceae), *Psidium firmum* (Myrtaceae) e *Varronia curassavica* (Boraginaceae).

Cerca de 42% das espécies foram endêmicas e 42% foram nativas não endêmicas (31 espécies em cada classe) (Tabela 1). As espécies exóticas foram menos frequentes com menos de 3%, representadas pelas espécies *Sonchus asper* (Asteraceae) e *Solanum erianthum* (Solanaceae) (Tabela 1). Não foi possível determinar a origem de aproximadamente 11% dos táxons amostrados (oito no total), devido à impossibilidade de identificar indivíduos jovens até o nível de espécie (Tabela 1). Em relação à origem das plantas, houve predomínio de espécies endêmicas nas Minas da Serrinha e Taquaril, enquanto a Mina Lucape foi caracterizada majoritariamente por espécies nativas não endêmicas (Figura 3A). A presença de espécies exóticas foi pouco expressiva em todas as áreas avaliadas. A forma de vida predominante nas três cavas foi a arbustiva, seguida pelas proporções de espécies herbáceas e arbóreas (Figura 3B). Quanto à síndrome de polinização, a zoofilia, especificamente mediada por insetos (entomofilia), foi amplamente

dominante, correspondendo à quase totalidade das espécies amostradas em todas as minas (Figura 3C). Para a dispersão de propágulos, a anemocoria foi a síndrome preponderante no panorama geral, sendo a estratégia principal nas Minas da Serrinha e Taquaril. Em contraste, a Mina Lucape apresentou a zoocoria como a estratégia de dispersão mais frequente (Figura 3D).

DISCUSSÃO

Panorama Geral

A assembleia de espécies vegetais que colonizou as cavas de mineração abandonadas no Quadrilátero Ferrífero demonstra uma potencial convergência em relação aos padrões ecológicos documentados para o campo rupestre ferruginoso, porém com variações entre as áreas estudadas. A predominância da família Asteraceae, especialmente na Mina da Serrinha (50% das espécies), corrobora estudos prévios que apontam a importância desta família em ambientes de canga (Jacobi & Carmo 2011, Conceição *et al.* 2007). No entanto, a variação descritiva na riqueza de

espécies e na composição de famílias botânicas observada qualitativamente entre as minas evidencia que a colonização florística inicial não é espacialmente homogênea. Considerando que a vegetação de canga é naturalmente caracterizada

por apresentar abruptas mudanças edáficas ao longo de poucos metros, gerando microhabitats distintos (Jacobi *et al.* 2007; Tameirão *et al.* 2021), a heterogeneidade florística observada sugere que variáveis ambientais locais podem atuar como

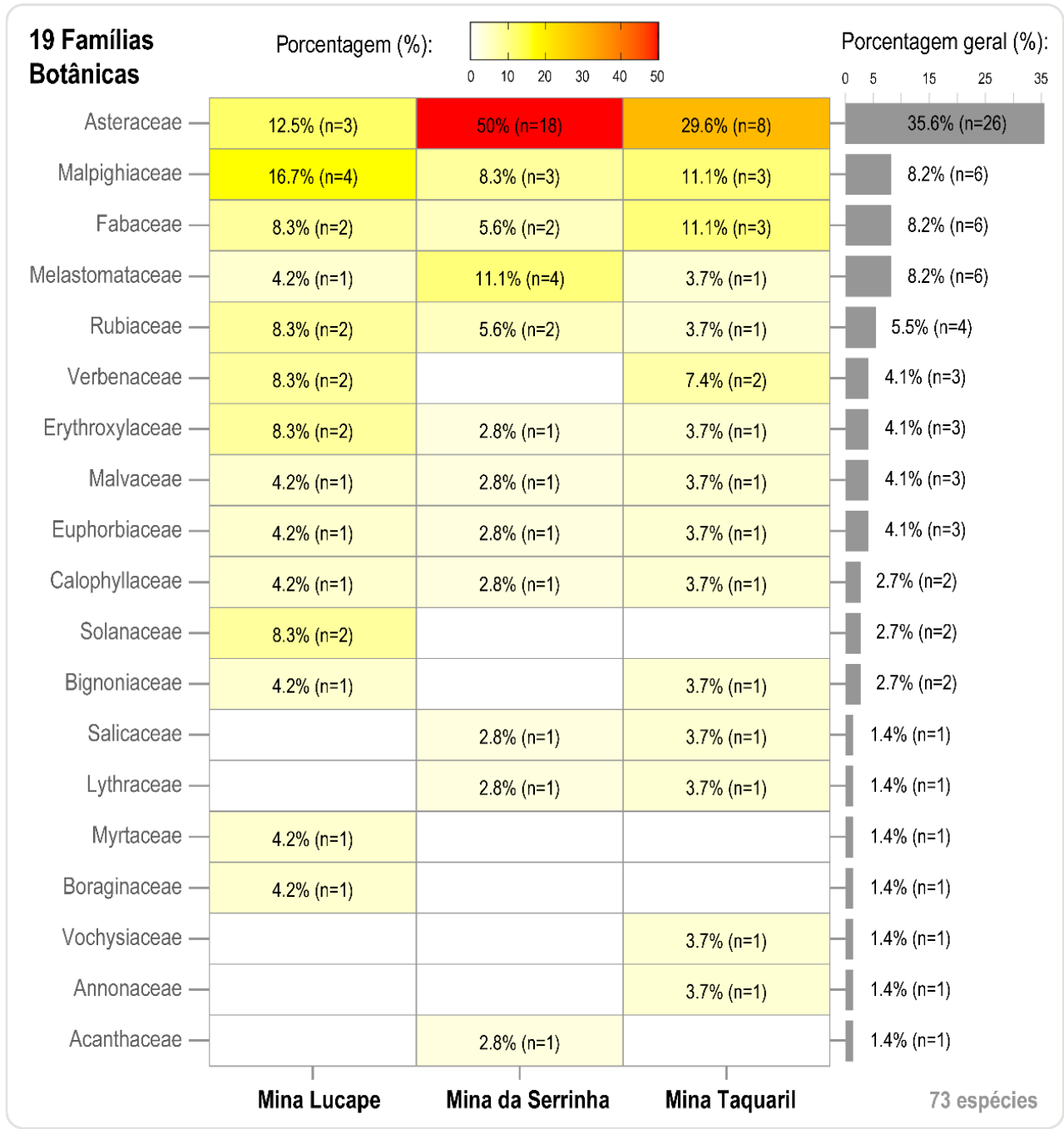


Figura 2. Porcentagem de espécies das diferentes famílias botânicas amostradas que colonizaram cavas das minas abandonadas Lucape, Serrinha e Taquaril no Quadrilátero Ferrífero do estado de Minas Gerais, Brasil (n = número de espécies).

Figure 2. Percent of species from the different sampled botanical families that colonized pits of the abandoned Lucape, Serrinha, and Taquaril mines in the Iron Quadrangle of the state of Minas Gerais, Brazil (n = number of species).

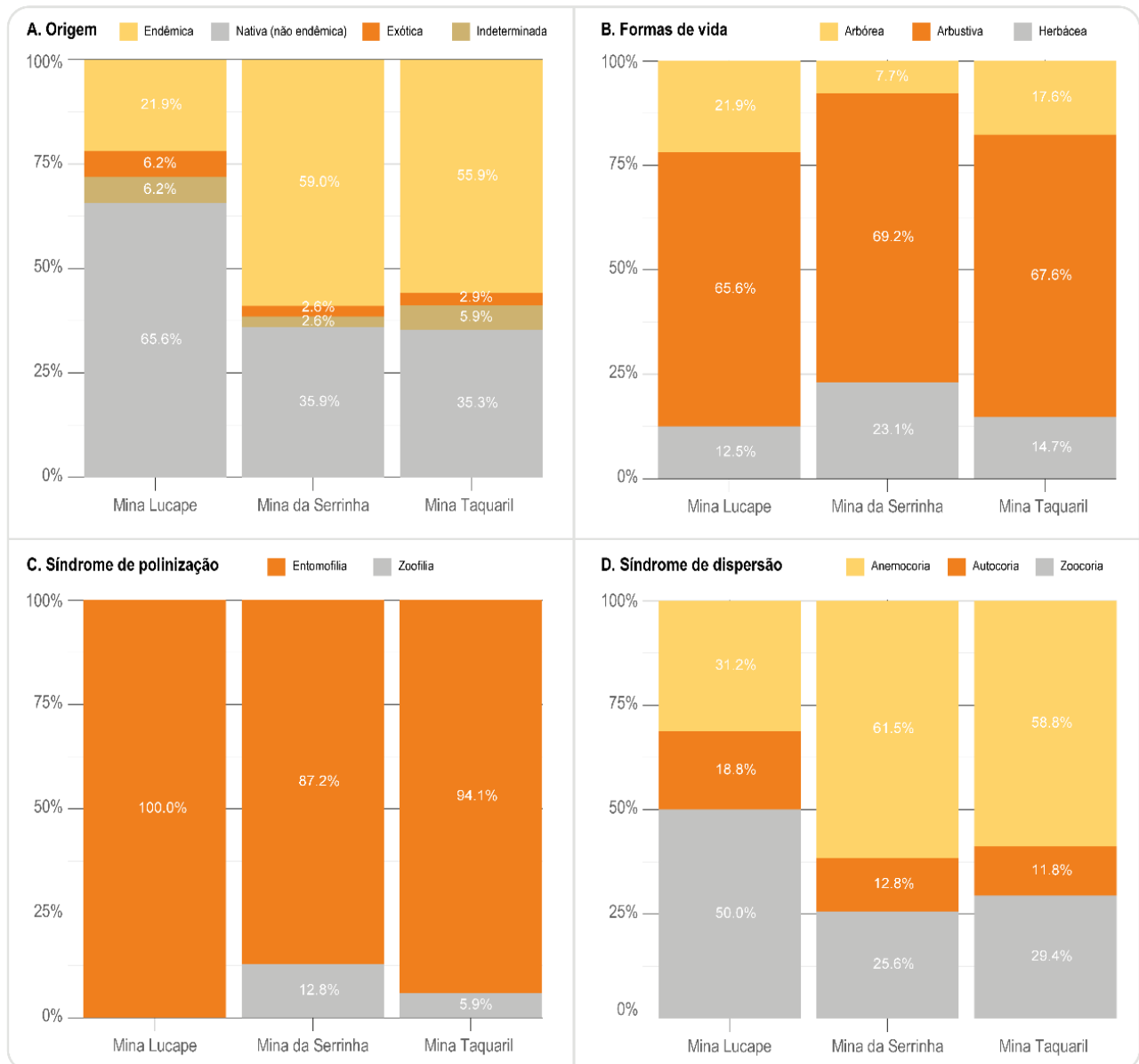


Figura 3. Porcentagem de espécies de plantas colonizadoras em relação à origem, forma de vida e características ecológicas nas cavas das minas abandonadas de Lucape, Serrinha e Taquaril no Quadrilátero Ferrífero do estado de Minas Gerais, Brasil. Em C, Zoofilia realizada preponderantemente por vertebrados.

Figure 3. Percentage of colonizing plant species in relation to origin (origem), life form (formas de vida), and ecological characteristics (síndrome de polinização and síndrome de dispersão) in the pits of the abandoned Lucape, Serrinha, and Taquaril mines in the Iron Quadrangle of the state of Minas Gerais, Brazil. In C, Zoophily (zoofilia) performed predominantly by vertebrates.

filtros ecológicos nessas cavas, o que demanda ser testado quantitativamente em estudos futuros.

O predomínio de espécies arbustivas (78,08%) reflete uma estratégia adaptativa às condições de estresse hídrico e nutricional características desses ambientes (Negreiros *et al.* 2014, Fernandes 2016a,b). Esta forma de vida permite um balanço entre crescimento rápido e tolerância a condições

edáficas adversas, sendo particularmente vantajosa nos estágios iniciais de colonização (Marcilio-Silva *et al.* 2016). A variação na proporção de espécies arbustivas entre as minas (27,39% a 36,98%), entretanto, indica que características locais podem influenciar a dominância relativa desta forma de vida, como demonstrado por Cunha-Bum *et al.* 2025 que características edáficas podem determinar a

composição de florística em estratos arbustivos de diferentes habitats do campo rupestre.

A síndrome de polinização predominante foi a entomofilia (>91% das espécies), padrão consistentemente reportado para o campo rupestre (Conceição *et al.* 2007, Jacobi & Carmo 2011, Silveira *et al.* 2016). A eficiência dos insetos como polinizadores generalistas, capazes de visitar múltiplas espécies em ambientes com baixa densidade de indivíduos, explica sua importância nos estágios iniciais de sucessão (Thomson *et al.* 2000, Kimmel *et al.* 2010). A presença de polinização por vertebrados (zoofilia) em proporções variáveis entre as minas (5,9% a 12,8%) sugere que a disponibilidade de polinizadores vertebrados pode ser um fator determinante para a diferenciação na estrutura das comunidades entre as áreas.

Quanto à dispersão de propágulos, a anemocoria foi a síndrome mais frequente (53% das espécies), seguindo o esperado para ambientes de campo rupestre (Conceição *et al.* 2007, Jacobi & Carmo 2011). Esta estratégia está associada à produção de sementes leves e estruturas que facilitam o transporte pelo vento, vantajosas em ambientes onde a dispersão a curtas distâncias aumenta a probabilidade de estabelecimento em microhabitats adequados (Waser *et al.* 1996, Silveira *et al.* 2016). Entretanto, a expressiva representatividade da zoocoria na Mina Lucape (50%) sugere que a presença de dispersores vertebrados pode alterar significativamente a dinâmica de colonização em algumas áreas.

A observação qualitativa quanto à origem das plantas evidenciou a coexistência de táxons endêmicos e nativos não endêmicos nas áreas avaliadas. Em termos puramente descritivos, uma maior proporção de espécies endêmicas foi registrado na Mina da Serrinha e de nativas não endêmicas na Mina Lucape. No campo rupestre, a dispersão é frequentemente limitada a curtas distâncias, o que torna a regeneração natural altamente dependente da vizinhança imediata para o estabelecimento de espécies endêmicas (Silveira *et al.* 2016). Adicionalmente, a transição entre a ocorrência de espécies generalistas e endêmicas pode ser modulada por severos filtros edáficos locais que favorecem nichos específicos (Fernandes 2016a,b, Tameirão *et al.* 2021). Contudo, o peso de variáveis como o grau de isolamento, a conectividade e o histórico de perturbação sobre

a composição florística dessas cavas necessita ser formalmente testado em estudos quantitativos futuros. Por fim, a baixa representatividade de espécies exóticas (<3%) atua como um indicativo favorável para as perspectivas de restauração ecológica. Esse resultado sugere que as condições extremas do campo rupestre ferruginoso (como o estresse hídrico e nutricional) podem funcionar como uma forte barreira ambiental que dificulta a invasão biológica por espécies exóticas ruderais, as quais frequentemente dominam áreas degradadas, mas falham em se estabelecer nestes microhabitats restritivos.

Implicações para a Restauração Ecológica e Direcionamentos Futuros

Os padrões ecológicos identificados fornecem subsídios para orientar estratégias de restauração em cavas de mineração abandonadas, com implicações práticas diretas. Tendo em vista os resultados encontrados, a seleção de espécies para programas de revegetação deve priorizar aquelas com síndromes compatíveis com as condições extremas desses ambientes, particularmente espécies arbustivas, entomófilas e anemocóricas, que demonstraram maior sucesso descritivo nos estágios iniciais de colonização avaliados neste estudo, corroborando os padrões ecológicos reportados para a regeneração em campos rupestres ferruginosos (*e.g.*, Jacobi & Carmo 2011; Silveira *et al.* 2016). A variação florística observada qualitativamente entre as minas, entretanto, ressalta a necessidade de se evitar modelos únicos de restauração. Em vez disso, recomenda-se a adoção de estratégias sítio-específicas, desenhadas sob medida para considerar as particularidades de cada área, incluindo a proximidade com fontes de propágulos, as características edáficas locais e o histórico de perturbação.

O intervalo de aproximadamente 25 anos desde a coleta original representa uma oportunidade para investigações de longo prazo sobre a dinâmica sucessional nestes ecossistemas. Uma nova amostragem sistemática permitiria não apenas avaliar trajetórias sucessionais em escala de mais de dez anos, mas também identificar gargalos ecológicos que limitam o avanço da sucessão em direção a comunidades mais complexas. Adicionalmente, como demonstrado

por Le Stradic *et al.* (2018), a comparação temporal possibilitaria verificar a efetividade ou falha na recuperação florística por meio de regeneração natural, além de verificar possíveis mudanças nas proporções das síndromes ecológicas, oferecendo uma compreensão sobre a estabilização das interações bióticas e a potencial necessidade de intervenções complementares ao processo natural de regeneração.

Para avançar no entendimento dos mecanismos que regulam a assembleia de comunidades vegetais nestes ambientes extremos, recomendamos que pesquisas futuras integrem abordagens complementares, incluindo avaliações de atributos funcionais específicos, mapeamento de redes de interação planta-polinizador e experimentos de transplântio controlados. A combinação dos dados históricos aqui apresentados com monitoramentos temporais sistemáticos constituirá uma contribuição significativa para o desenvolvimento de panoramas conceituais em ecologia da restauração, permitindo a formulação de intervenções mais eficazes e ecologicamente fundamentadas para a recuperação desses ecossistemas únicos e ameaçados.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Silmary de Jesus Gonçalves Alvim pela disponibilização do banco de dados das espécies vegetais ao Laboratório de Ecologia, Evolução e Biodiversidade. Agradecemos também à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), Vale S.A. e Anglo American pelo amparo financeiro. WKS agradece especificamente a FAPEMIG APQ-03263-23 pela concessão de bolsa.

REFERÊNCIAS

Almeida, D., Marchini, L. C., Sodré, G. S., D'Ávila, M., & Arruda, C. M. F. 2003. Plantas visitadas por abelhas e polinização. Piracicaba: Esalq-Divisão de Biblioteca e Documentação, p. 40.

Alves, R. J. V., & Kolbek, J. 1994. Plant species endemism in savanna vegetation on table mountains (Campo Rupestre) in Brazil. *Vegetatio*, 113(2), 125-139.

Amaral, A., Eugênio, C., Munhoz, C., & Felfili, J. 2013. Vascular flora in dry-shrub and wet grassland Cerrado seven years after a fire, Federal District, Brazil. *Check List*, 9(3), 487-503.

Barbosa, A. A. A., & Sazima, M. 2008. Biologia reprodutiva de plantas herbáceo-arbustivas de uma área de campo sujo de cerrado. In *Cerrado: Ecologia e Flora*. p. 291-318. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica.

Batalha, M. A., & Mantovani, W. 2000. Reproductive phenological patterns of cerrado plant species at the Pé-de-Gigante Reserve (Santa Rita do Passa Quatro, SP, Brazil): a comparison between the herbaceous and woody floras. *Revista Brasileira de Biologia*, 60, 29-145.

Bolmgren, K., & Eriksson, O. 2005. Fleshy fruits—origins, niche shifts, and diversification. *Oikos*, 109(2), 255-272.

Borges, R. A. X., & Forzza, R. C. 2008. A tribo Astereae (Asteraceae) no Parque Estadual do Ibitipoca, Minas Gerais, Brasil. *Boletim de Botânica*, 26, 131-154.

Carmo, F. F. D., & Jacobi, C. M. 2013. A vegetação de canga no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: caracterização e contexto fitogeográfico. *Rodriguésia*, 64, 527-541.

Conceição, A. A., Funch, L. S., & Pirani, J. R. 2007. Reproductive phenology, pollination and seed dispersal syndromes on sandstone outcrop vegetation in the “Chapada Diamantina”, northeastern Brazil: population and community analyses. *Brazilian Journal of Botany*, 30, 475-485.

Cunha-Blum, J., Ramos, L., Negreiros, D., Paiva, D. C., Gomes, V. M., Borges, L. M., & Fernandes, G. W. 2025. Towards the reference ecosystems for quartzitic campo rupestre: Floristic composition and soil relationships. *Ecological Engineering*, 211, 107463.

Da Silva Anunciação, E. 2017. Estudo das interações entre visitantes florais e plantas visitadas, com enfoque nas síndromes florais em uma área antropizada na Bahia. *Anais Seminário de Iniciação Científica*, 4 p.

De Carvalho, C. A. L., Marques, O. M., Vidal, C. A., & Neves, A. M. S. 2001. Comportamento forrageiro de abelhas (Hymenoptera, Apoidea) em flores de *Solanum palinacanthum* Dunal (Solanaceae). *Revista Brasileira de Zoociências*, 3, 1-10.

- Dutra, V. F., Garcia, F. C. P., & Lima, H. C. 2008. Mimosoideae (Leguminosae) nos campos rupestres do Parque Estadual do Itacolomi, Minas Gerais, Brasil. *Rodriguésia*, 59, 573-585.
- Felfili, J. M., Silva Junior, M. D., Dias, B. J., & Rezende, A. V. 1999. Estudo fenológico de *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville no cerrado sensu stricto da fazenda Água Limpa no Distrito Federal, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, 22, 83-90.
- Fernandes, G. W., Barbosa, N. P. U., Negreiros, D., & Paglia, A. P. 2014. Challenges for the conservation of vanishing megadiverse rupestrian grasslands. *Perspectives in Ecology and Evolution*, 12(2), 162-165.
- Fernandes, G. W., Toma, T. S. P., Angiolini, P., & Overbeck, G. 2016a. Challenges in the Restoration of Quartzitic and Ironstone Rupestrian Grasslands. In G. W. Fernandes (Ed.), *Ecology and Conservation of Mountaintop Grasslands in Brazil*. pp. 449-477. Cham: Springer.
- Fernandes, G. W. 2016b. The Harsh and Unique Rupestrian Grassland. In G. W. Fernandes (Ed.), *Ecology and Conservation of Mountaintop Grasslands in Brazil*. pp. 3-12. Cham: Springer.
- Fernandes, G. W., Barbosa, N. P. U., Alberton, B., Barbieri, A., Dirzo, R., Goulart, F., Guerra, T. J., Morellato, L. P. C., & Solar, R. R. C. 2018. The deadly route to collapse and the uncertain fate of Brazilian rupestrian grasslands. *Biodiversity and Conservation*, 27, 2587-2603.
- Freitas, L., & Sazima, M. 2006. Pollination biology in a tropical high-altitude grassland in Brazil: interactions at the community level. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 93, 465-516.
- Funk, V. A., Anderberg, A. A., Baldwin, B. G., Bayer, R. J., Bonifacino, J. M., Breitwieser, I., ..., Crawford, D. J. 2009. *Compositae metatrees: the next generation*. *Systematics, Evolution, and Biogeography of Compositae*, 747-776.
- Gottsberger, G. 1994. As Anonáceas do cerrado e sua polinização. *Revista Brasileira de Biologia*, 54, 391-402.
- Gottsberger, G., & Silberbauer-Gottsberger, I. 2006. *Life in the Cerrado: A South American Tropical Seasonal Vegetation*, Vol. II. Pollination and Seed Dispersal. Ulm: Reta Verlag.
- Giulietti, A. M., Pirani, J. R., & Harley, R. M. 1997. Espinhaço range region, eastern Brazil. In S. D. Davis, V. H. Heywood, O. Herrera-MacBryde, J. Villa-Lobos & A. C. Hamilton (Eds.), *Centres of Plant Diversity: a Guide and Strategy for their Conservation*. pp. 397-404. Cambridge: IUCN Publication Unity.
- Hopper, S. D. 2009. OCBIL theory: towards an integrated understanding of the evolution, ecology and conservation of biodiversity on old, climatically buffered, infertile landscapes. *Plant and Soil*, 322, 49-86.
- Ishara, K. L., & Maimoni-Rodella, R. D. C. S. 2011. Pollination and dispersal systems in a Cerrado remnant (Brazilian Savanna) in Southeastern Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 54, 629-642.
- Jacobi, C. M., do Carmo, F. F., & Vincent, R. C., & Stehmann, J. R. 2007. Plant communities on ironstone outcrops: a diverse and endangered Brazilian ecosystem. *Biodiversity and Conservation*, 16(7), 2185-2200.
- Jacobi, C. M., & Carmo, F. F. 2011. Life-forms, pollination and seed dispersal syndromes in plant communities on ironstone outcrops. *Acta Botanica Brasilica*, 25(2), 395-412.
- Júnior, M., & Mascarenhas, R. E. B. 2001. Levantamento da infestação de plantas daninhas associada a uma pastagem cultivada de baixa produtividade no nordeste paraense. *Planta Daninha*, 19, 11-21.
- Kimmel, T. M., Nascimento, L. M., Piechowski, D., Sampaio, E. V. S. B., Rodal, M. J. N. R., & Gottsberger, G. 2010. Pollination and seed dispersal modes of woody species of 12-year-old secondary forest in the Atlantic Forest region of Pernambuco, NE Brazil. *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 205(8), 540-547.
- Kissmann, K. G., & Groth, D. 1997. *Plantas infestantes e nocivas – Tomo 1*. São Paulo: Basf, 978 p.
- Koschnitzke, C., & Sazima, M. 1997. Biologia floral de cinco espécies de Passiflora L. (Passifloraceae) em mata semidecídua. *Brazilian Journal of Botany*, 20, 119-126.
- Le Stradic, S., Fernandes, G. W., & Buisson, E. 2018. No recovery of campo rupestre grasslands after gravel extraction: implications for conservation and restoration. *Restoration Ecology*, 26, S151-S159.
- Leishman, M. R., Westoby, M., & Jurado, E. 1995. Correlates of seed size variation: a comparison

- among five temperate floras. *Journal of Ecology*, 83(3), 517-530.
- Lorenzi, H. 2008. Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 640 p.
- Macleish, N. F. 1987. Revision of *Eremanthus* (Compositae: Vernonieae). *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 74, 265-290.
- Maia-Silva, C., Limão, A. A. C., Hrnair, M., Da Silva Pereira, J., & Imperatriz-Fonseca, V. L. 2018. The contribution of palynological surveys to stingless bee conservation: A case study with *Melipona subnitida*. In V. Vit, S. Pedro, & D. Roubik (Eds.), *Pot-Pollen in Stingless Bee Melittology*. pp. 89-101. Cham: Springer.
- Makoto, K., & Wilson, S. D. 2019. When and where does dispersal limitation matter in primary succession? *Journal of Ecology*, 107(2), 559-565.
- Mantovani, W., & Martins, F. R. 1993. Florística do Cerrado na reserva biológica de Moji-Guaçu, SP. *Acta Botanica Brasilica*, 7, 33-60.
- Marcilio-Silva, V., Pillar, V. D., & Marques, M. C. M. 2016. Functional turnover and community assemblage during tropical forest succession. *Community Ecology*, 17(1), 88-97.
- Martens, L. A. 2008. Flores da Serra da Calçada. Belo Horizonte: Editora UFMG, 477 p.
- Mitra, B. 2010. Diversity of flower-visiting flies (Insecta: Diptera) in India and their role in pollination. *Records of the Zoological Survey of India*, 110, 95-107.
- Negreiros, D., Le Stradic, S., Fernandes, G. W., & Rennó, H. C. 2014. CSR analysis of plant functional types in highly diverse tropical grasslands of harsh environments. *Plant Ecology*, 215(4), 379-388.
- Nesom, G. L. 1988. *Baccharis monoica* (Compositae: Astereae), a monoecious species of the *B. salicifolia* complex from Mexico and Central America. *Phytologia*, 65, 160-164.
- Ormond, W. T., Pinheiro, M. C. B., & Alves de Lima, H. (sem data). Sexualidade das plantas da restinga de Maricá, RJ. *Boletim do Museu Nacional*, 87, 1-24.
- Peres, M. K. 2016. Estratégias de dispersão de sementes no Bioma Cerrado: considerações ecológicas e filogenéticas. Tese (Doutorado em Botânica) - Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília. Brasília. p. 353.
- Pessoa, C. S. 2012. *Ruellia* L. (Acanthaceae) no Estado de Minas Gerais, Brasil. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa.
- R Core Team. 2025. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: < <https://www.R-project.org/> >. Acessado em: 7 Março 2025).
- Ramírez, N. 2005. Plant sexual systems, dichogamy, and herkogamy in the Venezuelan Central Plain. *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 200, 30-48.
- REFLORA, Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: < <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/> >. Acessado em: 01 Dezembro 2023.
- Rocha, N. M. W. B., Carstensen, D. W., Fernandes, G. W., Buisson, E., & Morellato, L. P. C. 2016. Phenology patterns across a rupestrian grassland altitudinal gradient. In G. W. Fernandes (Ed.), *Ecology and Conservation of Mountaintop Grasslands in Brazil*. pp. 275-289. Cham: Springer.
- Salazar, A., Goldstein, G., Franco, A. C., & Miralles-Wilhelm, F. 2012. Seed limitation of woody plants in Neotropical savannas. *Plant Ecology*, 213(2), 273-287.
- Scarano, F. R. 2007. Rock outcrop vegetation in Brazil: a brief overview. *Brazilian Journal of Botany*, 30(4), 561-568.
- Silva, A. P. 1995. Biologia reprodutiva e polinização de *Palicourea rigida* HBK (Rubiaceae). Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília.
- Silva, C. I. D., Araújo, G., & Oliveira, P. E. A. M. 2012. Vertical distribution of biotic pollination systems in cerrado sensu stricto in the Triângulo Mineiro, MG, Brazil. *Acta Botanica Brasilica*, 26, 748-760.
- Silveira, F. A., Negreiros, D., Barbosa, N. P., Buisson, E., Carmo, F. F., Carstensen, D. W., Conceição, A. A., Cornelissen, T. G., Echternacht, L., Fernandes, G. W., & Garcia, Q. S. 2016. Ecology and evolution of plant diversity in the endangered campo rupestre: a neglected conservation priority. *Plant and Soil*, 403, 129-152.
- Souza, V. C., & Lorenzi, H. 2012. *Botânica Sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de Fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG III*. Nova Odessa: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 768 p.

- Tameirão, L., Caminha-Paiva, D., Negreiros, D., Veloso, M. D. D. M., Berbara, R. L., Dias, L. E., Pierce, S., & Fernandes, G. W. 2021. Role of environmental filtering and functional traits for species coexistence in a harsh tropical montane ecosystem. *Biological Journal of the Linnean Society*, 133(2), 546-560.
- Tannus, J. L., Assis, M. A., & Morellato, L. P. C. 2006. Fenologia reprodutiva em campo sujo e campo úmido numa área de cerrado no sudeste do Brasil, Itirapina-SP. *Biota Neotropica*, 6, 1-27.
- Thomson, J. D., Wilson, P., Valenzuela, M., & Malzone, M. 2000. Pollen presentation and pollination syndromes, with special reference to *Penstemon*. *Plant Species Biology*, 15(1), 11-29.
- Toma, T. S. P., Overbeck, G. E., De Souza Mendonça Jr, M., & Fernandes, G. W. 2023. Optimal references for ecological restoration: the need to protect references in the tropics. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 21(1), 25-32.
- Turnbull, L. A., Paul-Victor, C., Schmid, B., & Purves, D. W. 2008. Growth rates, seed size, and physiology: Do small-seeded species really grow faster? *Ecology*, 89(5), 1352-1363.
- Vogel, S. 2015. Vertebrate pollination in *Compositae*: Floral syndromes and field observations. *Stapfia*, 103, 5-26.
- Waser, N. M., Chittka, L., Price, M. V., Williams, N. M., & Ollerton, J. 1996. Generalization in pollination systems, and why it matters. *Ecology*, 77(4), 1043-1060.
- Xena de Enrech, N., & Madriz, R. 1994. Aspectos de la biología de polinización en el bosque enano de la cima del Cerro Cope (Isla Margarita). *Acta Botánica Venezolana*, 18(1), 35-68.

Submitted: 17 November 2024

Accepted: 17 April 2026

Published: 12 May 2026

Associate Editor: Amanda Souza dos Santos