



**Universidade Federal de Uberlândia
Instituto de Biologia
Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal**



**FITOGEOGRAFIA DE POACEAE DO CERRADO: PADRÕES FLORÍSTICOS,
FILOGENÉTICOS E FUNCIONAIS**

Pablo Rutierry Rodrigues Silva

Orientador:

Prof. Dr. Cassiano Aimberê Dorneles Welker

Uberlândia, 20 de fevereiro de 2020.



Universidade Federal de Uberlândia
Instituto de Biologia
Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal



**FITOGEOGRAFIA DE POACEAE DO CERRADO: PADRÕES FLORÍSTICOS,
FILOGENÉTICOS E FUNCIONAIS**

Pablo Rutierry Rodrigues Silva

Orientador:

Prof. Dr. Cassiano Aimberê Dorneles Welker

Dissertação apresentada como pré-requisito para
obtenção de título de mestre pelo Programa de
Pós-Graduação em Biologia Vegetal da
Universidade Federal de Uberlândia.

Uberlândia, 20 de fevereiro de 2020.

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

S586 Silva, Pablo Rutierry Rodrigues, 1994-
2020 Fitogeografia de Poaceae do Cerrado [recurso eletrônico] :
Padrões Florísticos, Filogenéticos e Funcionais / Pablo Rutierry
Rodrigues Silva. - 2020.

Orientador: Cassiano Aimberê Dorneles Welker.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Pós-graduação em Biologia Vegetal.
Modo de acesso: Internet.
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2020.182>
Inclui bibliografia.

1. Botânica. I. Welker, Cassiano Aimberê Dorneles, 1985-,
(Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação
em Biologia Vegetal. III. Título.

CDU: 581

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

**FITOGEOGRAFIA DE POACEAE DO CERRADO: PADRÕES FLORÍSTICOS,
FILOGENÉTICOS E FUNCIONAIS**

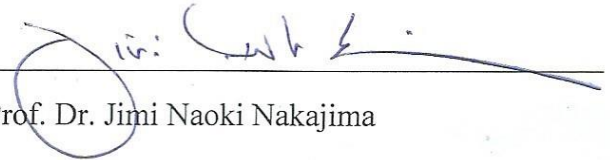
Pablo Rutierry Rodrigues Silva

Orientador: Prof. Dr. Cassiano Aimberê Dorneles Welker

Aprovada pela Comissão Avaliadora em: 20 / 02 / 2020 .



Prof. Dr. Cassiano Aimberê Dorneles Welker



Prof. Dr. Jimi Naoki Nakajima

Participação epistolar

Dra. Hilda Maria Longhi-Wagner

À Hanna,

Por amor também se aprende a seguir em frente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço e dedico ao maior apoio deste título: minha mãe, Marivalda.

Ao cidadão brasileiro, em especial aos trabalhadores assalariados que pagam seus pesados impostos e viabilizam, dessa forma, o ensino, a pesquisa, a divulgação e as bolsas de estudos pelo país, pelos quais sou imensamente grato. Por esse voto de esperança à juventude e à ciência.

Ao meu pai e avô por motivar meu crescimento.

A minha vó e Gerson pela família e pelo lar.

Aos amigos e Márcio, Túlio, Heitor, Bruna por tornar a caminhada bem acompanhada.

À companhia sincera e acolhedora da minha parceira Taciana.

A Orlando, Cassiano e Jamir pelo desempenho majestoso da vocação de professor, por incentivar, acompanhar e fazer crescer.

À Nívia pela assistência indispensável a todo programa.

Aos colegas de curso pela partilha de experiências e crescimento conjunto.

Aos cientistas que construíram um universo de saber e que fazem do conhecimento algo acessível e encantador à cada palavra.

À Universidade Federal de Uberlândia, ao Instituto de Biologia e ao Programa de Pós-graduação em Biologia Vegetal.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Sumário

RESUMO.....	7
ABSTRACT	8
INTRODUÇÃO.....	9
MATERIAL E MÉTODOS.....	12
Sítios e base de dados florísticos	12
Similaridade florística.....	15
Classificação de vias fotossintéticas para as espécies	15
Diversidade taxonômica	16
Variáveis ambientais e distúrbio.....	16
RESULTADOS	18
Padrão de diversidade de Poaceae	18
Gradientes ambientais.....	19
Relações entre florística e variáveis ambientais	20
Regressões múltiplas e ordenações.....	21
DISCUSSÃO	28
CONCLUSÕES	34
BIBLIOGRAFIA	35
APÊNDICES	35

Fitogeografia de Poaceae do Cerrado: padrões florísticos, filogenéticos e funcionais

RESUMO

Os campos e savanas do Cerrado brasileiro possuem grande vulnerabilidade frente às práticas antrópicas de uso e ocupação, e às mudanças climáticas. Por apresentar larga expressão na composição florística das formações abertas, propusemos investigar os padrões fitogeográficos da família Poaceae compilando 28 levantamentos florísticos em sítios de Cerrado e relictos associados. Foram analisados índices de similaridade entre os sítios, composição de espécies com diferentes metabolismos fotossintéticos, bem como as variáveis ambientais que pudessem direcionar os padrões bióticos, somando 43 variáveis entre climáticas, edáficas e de caráter paisagístico, como forma do sítio e matriz de entorno. Os resultados mostraram fortes ligações ambientais com sazonalidade e temperatura assim como granulometria e fertilidade dos solos, agrupando padrões de similaridade entre sítios relictos ou ecotonais com a Mata Atlântica e sítios *core* do Cerrado. A maioria das gramíneas presentes nos sítios amostrados pertence ao clado PACMAD, representando 95% das espécies. As subfamílias com maior ocorrência nas áreas de Cerrado foram Panicoideae, com 255 espécies (76%), e Chloridoideae, com 47 espécies (14%). A ocorrência de espécies C₃ seguiu o mesmo padrão. Sítios distantes, como o Chaco Mato-grossense e o Cerrado em seu limite mais meridional, no estado do Paraná, apresentaram baixa similaridade para com os demais sítios. Parâmetros relacionados à conservação dos fragmentos, como extensão e matriz de entorno, se mostraram importantes na aproximação florística de sítios mais preservadas ao norte do polígono do Cerrado, demonstrando grande fragilidade dos sítios nas porções mais meridionais do bioma.

Palavras-chave: Biogeografia do Cerrado; Campos; Savanas; Similaridade; Análise de componentes principais.

ABSTRACT

Grasslands and savannas of the Brazilian “Cerrado” are highly vulnerable to anthropic practices of use and occupation and to the climate crisis. Due to its wide expression in the floristic composition of open formations, we intended to investigate the phytogeographic patterns of the family Poaceae by compiling and analyzing 28 floristic surveys in “Cerrado” areas and associated ecotones. Similarity indexes between sites and species composition with different photosynthetic metabolisms were analyzed, as well as environmental variables that could direct biotic patterns, adding up to 43 variables between climatic, edaphic and landscape features such as shape and surrounding matrix. The results showed strong environmental links with seasonality and temperature as well as soil size and fertility, grouping patterns of similarity between ecotone sites with the Atlantic Rainforest and the core area of the “Cerrado”. Most of the grasses presented in the sites belong to the PACMAD clade, representing 95% of the species. The main subfamilies in the Cerrado areas were Panicoideae, with 255 species (76%), and Chloridoideae, with 47 spp (14%). The presence of C₃ species followed the same pattern. Distant sites such as Chaco Mato-grossense and the southernmost “Cerrado” of Paraná have low similarity with the other sites. Parameters related to the conservation of fragments such as extension and surrounding matrix proved to be important in the floristic approach of more preserved areas to the north of the “Cerrado” polygon, showing great fragility of the areas in the southern.

Key words: *Cerrado*’s biogeography; Grasslands; Savanna; Similarity; Principal components analysis.

INTRODUÇÃO

Savanas são ecossistemas de paisagem aberta onde o estrato herbáceo, caracteristicamente C4, predomina em associação com maior ou menor presença do estrato arbóreo-arbustivo (Scholes & Archer, 1997). Distribuem-se pelas zonas biogeográficas Australiana, Tropical e Neotropical (Pinheiro, 2010) onde ocorrem em condições climáticas fortemente sazonais de chuva e temperatura (Solbrig, 1996) e solos, em geral, distróficos. Além disso, o fogo é agente modelador da paisagem de grande importância desses ecossistemas que são, algumas vezes, de origem antrópica (Richards, 1952), como na larga maioria das savanas asiáticas (Solbrig, 1996). Na América as savanas têm representantes do sopé dos Andes, os chamados *llanos de mochos* na Bolívia, até tabuleiros litorâneos Brasil e na Venezuela, além de vegetações na América central e na ilha de Cuba (Pinheiro, 2010). Do norte da Argentina até o Paraguai, o *Chaco* é composto por um mosaico de formações arbóreas e savanas inundáveis e no nordeste do Brasil, no outro extremo ambiental, ocorre a *caatinga*, uma savana estépica em clima semi-árido (Veloso *et al.*, 1992).

O Cerrado está presente no centro da América do Sul, em países como Bolívia, Paraguai e Brasil, país onde compreende 23,9% do território nacional, com cerca de 2 milhões de km² (IBGE, 2018). A região em que se insere é chamada de Domínio Morfoclimático do Cerrado, caracterizada por planícies e planaltos cenozoicos, solos lateríticos e clima tropical sazonal (Ab'Sáber, 2003). No entanto, a variabilidade da paisagem em escala regional confere a esse domínio ampla diversidade de ambientes (Lopes & Cox, 1977). Desde florestas mesófilas associadas a corpos hídricos e fundos de vales, passando por savanas arborizadas com variados níveis de presença do estrato arbóreo, até campos onde o estrato herbáceo predomina e que pode estar associado a corpos rochosos (campo rupestre) ou campos limpos. Ocorre também em relictos dentro de outros domínios brasileiros (Ab'Sáber, 2003; Veloso *et al.*, 1992). Em sua posição central, tem papel fundamental na manutenção da biodiversidade sul-americana, pois compartilha a fauna e flora de biomas vizinhos, funcionando como conexão e dispersor das espécies na paisagem, além de abastecer bacias internacionais pelos rios que ali nascem (Scarano *et al.*, 2014).

A taxa de vegetação natural suprimida de 48%, atrelada ao endemismo no Cerrado para lagartos (45%), aves (3,4%) e anfíbios (28%), plantas superiores (44%), herbáceas (70%) (Machado *et al.* 2008; Klink & Machado, 2005), levou o bioma a ser incluído na lista de *hotspots* da biodiversidade mundial (Myers *et al.*, 2000). Áreas como Cadeia do Espinhaço, Chapada dos Veadeiros, Vale do Paranã e Vale do Araguaia são consideradas centros de endemismo desse bioma (Machado *et al.* 2008). Suas formações abertas se tornam objetos justificáveis de um número cada vez maior de ações voltadas à sua conservação (Buisson *et al.* 2019) já que, segundo o Projeto MapBiomias

(2018), o Cerrado possui atualmente cerca de 43 milhões de hectares em formações campestres e savânicas, tendo perdido 16 milhões de ha (37%) nos últimos 33 anos.

No fim da estação seca, com a vegetação desidratada, é comum a ocorrência de extensos incêndios naturais e antropogênicos (Ramos-Neto & Pivello 2000). Eventos que são fundamentais para a manutenção da configuração ecológica das formações abertas do Cerrado (Durigan & Ratter, 2016; Dantas *et al.*, 2013; Hoffmann *et al.*, 2012). Os parâmetros espaciais também direcionam a natureza edáfica do Brasil Central, que é caracterizado por solos sujeitos à intensa monossialitização, o que os confere baixas taxas de capacidade de troca catiônica (CTC) com as plantas que ali ocorrem (Lepsch, 2016). A grande diversidade paisagística foi dividida em classificação sugerida por Castro (1994) em três supercentros: Sudeste meridional, Planalto central e Nordeste. O padrão de distribuição sugerido seria, portanto, determinado por altitude, em intervalos de 400m-500m e 900m-1000m, e latitude, polarizado pelos polígonos das secas e das geadas. Os supercentros de Castro (1994) se dividem em oito grupos, incluindo cerrados do litoral (relictos em tabuleiros litorâneos) e cerrados do Pantanal. No mesmo sentido Ratter *et al.* (2003) sugere oito regiões para o Cerrado, nesse caso assumindo também savanas no estado de Rondônia e os fragmentos de savanas amazônicas.

Em boa parte do Cerrado se encontram fisionomias abertas em que predominam formas vegetais que se sobressaem em ambientes de grande estresse hídrico, como plantas hemicriptófitas, geófitas e terófitas (Moro & Carmo, 2007). Nessas fisionomias, o estrato herbáceo predomina na paisagem do Cerrado, onde as gramíneas (família Poaceae) são o principal componente, onde tais plantas se sobressaem frente a eventos de seca sazonal e ação frequente do fogo pela presença de atributos morfológicos e fisiológicos como hábito cespitoso, rizomas e fenologia frequentemente anual, com grande produção de sementes (Souza & Lorenzi, 2008; Kolbek & Alves, 2008). As gramíneas, desse modo, representam 72% da biomassa aérea total em campos limpos, que é de 5,5 t/ha (de Castro & Kauffman, 1998). Além disso, Kanno *et al.* (1999) mostraram que os tecidos subterrâneos de gramíneas no Cerrado correspondem a 60-70% da biomassa vegetal total. Batmanian & Haridasan (1985), ao analisarem a produção primária do estrato herbáceo para Cerrado *stricto sensu*, chegaram a 3,27 mg/ha, sendo Poaceae responsável por 68-78% desse número. O registro palinológico das gramíneas, inclusive, tem grande potencial para ser utilizado como marcador de mudanças biogeográficas históricas entre o Cerrado e as florestas tropicais (de Oliveira *et al.*, 1999).

A família Poaceae inclui 12 subfamílias, com 3 linhagem basais (Anomochlooideae, Pharoideae e Puelioideae) e os clados PACMAD (anagrama para as subfamílias Panicoideae, Arundinoideae, Chloridoideae, Micrairoideae, Aristidoideae e Danthonioideae) e BOP (Bambusoideae, Oryzoideae e Pooideae), segundo Soreng *et al.* (2017). No Cerrado, Poaceae representa a quarta família com maior diversidade (BFG, 2015), possuindo 134 gêneros e 748 espécies,

das quais 176 espécies (23,5%) endêmicas (Flora do Brasil, 2020). Além da sua expressão na biodiversidade, Gramíneas correspondem a maior parte do material combustível, principalmente quando secam (Ver Rissi et al. 2017). Se o regime de fogo não é alterado, o fogo pode manter essa fisionomia, graças à produtividade das gramíneas e por elas serem extremamente resilientes ao fogo, ou seja, após eventos de fogo, rebrotam e acumulam rapidamente biomassa (Fidelis et al. 2013). Funcionam, portanto, como direcionador para os limites entre fisionomias florestais e campos/savanas (ver Dantas *et al.*, 2013; Hoffmann *et al.*, 2012).

Estudos de similaridade florística ajudam a elucidar aspectos da fitogeografia brasileira, já que permitem avaliar afinidades e diferenças na composição vegetal entre sítios distintos, apontando para possíveis ligações com a complexidade ambiental dentro dos fatores geográficos (Negrão, 2016; Meira-Neto & Martins, 2002). Além disso, a utilização de variáveis climáticas para estimar a distribuição de espécies tem se popularizado frente à grande disponibilidade de dados espaciais (Alexandre *et al.*, 2013). As investigações sobre os vários possíveis cenários de crise climática têm auxiliado a avaliar a ação humana sobre o ambiente e como os geossistemas podem responder a tais ações (Moss *et al.*, 2010). Trabalhos dessa vertente são comuns na literatura voltada à biologia da conservação. Longhi-Wagner *et al.* (2012) investigaram a similaridade de 13 campos de altitude em uma grande amplitude latitudinal (13-28° S) com base na composição de Poaceae. Chegaram ao número de 311 espécies em 72 gêneros a partir da compilação de listas florísticas, encontrando ao final padrões de distribuição relacionados com clima e substrato geológico em análise multivariada. No mesmo sentido, Garcia *et al.* (2009) compilaram listas florísticas de 20 campos, contabilizando 224 espécies. Padrões de distribuição foram observados relacionados à temperatura e associados ao tipo fotossintético (C₃-C₄) por Garcia *et al.* (2009). Com a grande fragmentação dos espaços naturais (Vianna & Pinheiro, 1998), os estudos fitogeográficos desses refúgios tornam-se importantes e urgentes para a previsão das condições futuras e auxílio no delineamento de políticas públicas de manejo e conservação (Neri *et al.*, 2007; Santos *et al.*, 2007).

Nesse sentido, o presente estudo visa (1) analisar a similaridade florística entre diversos sítios do Cerrado brasileiro e relictos associados, restringindo-se às fitofisionomias campestres e savânicas, com base na composição de espécies da família Poaceae; (2) a composição de Poaceae no Cerrado segue os padrões de distribuição em latitude e altitude, tais como as encontradas por Castro (1994)?; e (3) entender como os mesmos fatores espaciais direcionam os parâmetros de diversidade filogenética e diversidade funcional (metabolismo C₃-C₄) da família Poaceae.

MATERIAL E MÉTODOS

Sítios e base de dados florísticos

Foram compilados trabalhos que fornecessem levantamentos florísticos de sítios no Cerrado e relictos associados com uma boa amostragem de gramíneas, em geral com número igual ou superior a 40 espécies de Poaceae por sítio. Dentro dessas especificidades, 28 sítios foram selecionados abrangendo uma grande amplitude geográfica, sendo 14 na porção central (área *core*) do Cerrado onde as características de clima sazonal são mais presentes, em pediplanos de solos saturados por metais e acidificados; oito sítios mais ao sul e sudeste interagindo com a influência da floresta Atlântica; cinco sítios ao longo da Cadeia do Espinhaço, desde Minas Gerais até Bahia; e um sítio no extremo oeste compartilhando paisagem mais próxima à bacia do Pantanal (Figura 1 e Tabela 1). Entre os sítios levantados apresentam-se Unidades de Conservação (UC), sendo 17 de proteção integral e seis de uso sustentável, e quatro em propriedades rurais. Um dos sítios levantados compreende a área inundada da Usina Hidroelétrica (UHE) da Serra da Mesa, e foi utilizado aqui o levantamento e resgate do germoplasma do sítio que compreende parte do processo de licenciamento do empreendimento (Walter, 2000). Dentre os estados que apresentam vegetação de Cerrado, apenas Maranhão e Piauí não puderam ser incluídos por falta de levantamentos consistentes da família Poaceae nesses sítios.

Foram excluídas das listagens as espécies exóticas e os espécimes não identificados até o nível de espécie (listados como “sp.”, “cf.” e “aff.” nos trabalhos originais), bem como espécies ocorrentes exclusivamente em ambientes florestais. Espécies que ocorrem tanto em ambientes abertos como florestais foram mantidas nas análises. Nos casos em que os trabalhos apresentavam subespécies ou variedades, os táxons foram tratados apenas no nível de espécie. As listagens foram atualizadas quanto à nomenclatura, empregando somente nomes aceitos na Flora do Brasil (2020). O número de espécies de cada sítio, após os passos citados e a atualização nomenclatural, está apresentado na Tabela 1. A listagem das espécies de cada sítio encontra-se no Apêndice 1.



- | | |
|--|---|
| 1- JALA: Parque Estadual do Jalapão | 16- CIPO: Parque Nacional da Serra do Cipó |
| 2- ARAG: Parque Estadual do Araguaia | 17- LAGO: Área de Proteção Ambiental Lagoa Santa |
| 3- CATO: Catolés (dentro da APA Serra do Barbado) | 18- CALC: Parque Estadual Serra do Rola-Moça e Serra da Calçada |
| 4- VEAD: Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros | 19- FURN: Parque Estadual Furnas do Bom Jesus |
| 5- MESA: Usina hidrelétrica de Serra da Mesa | 20- ITAC: Parque Estadual do Itacolomi |
| 6- TRIJ: Fazenda Trijunção | 21- OURO: Parque Estadual Serra do Ouro Branco |
| 7- SERT: Parque Nacional Grande Sertões Veredas | 22- CANA: Parque Nacional da Serra da Canastra |
| 8- CAFU: Área de Proteção Ambiental Cafuringa | 23- CHAC: Chaco |
| 9- PNB: Parque Nacional de Brasília | 24- IBIT: Parque Estadual do Ibitipoca |
| 10- PEBS: Parque Estadual Bernardo Sayão | 25- TOCA: Monumento Natural Municipal da Toca dos Urubus e Mãe d'água |
| 11- RIFU: Área de Relevante Interesse Ecológico Riacho Fundo | 26- MOGI: Reserva Biológica de Mogi-Guaçu |
| 12- MOGO: Parque Estadual de Grão Mogol | 27- MAQU: Fazenda Máquina |
| 13- EMAS: Parque Nacional das Emas | 28- PECE: Parque Estadual do Cerrado |
| 14- SUCU: Complexo de APAs Aroré-Sucuriú | |
| 15- UBER: Fazenda em Uberlândia | |

Figura 1: Mapa dos sítios amostrados em áreas de Cerrado e relictos associados. (MA: Maranhão; PI: Piauí; TO: Tocantins; BA: Bahia; MT: Mato Grosso; GO: Goiás; MG: Minas Gerais; DF: Distrito Federal; MS: Mato Grosso do Sul; SP: São Paulo; PR: Paraná.)

Tabela 1: Relação dos sítios analisados com número de espécies amostradas e suas respectivas referências bibliográficas. O número de espécies apresentado na tabela representa a amostragem final após a execução da metodologia de seleção das espécies mencionada acima.

	Sigla	Localidade	UF	Número de espécies	Referência(s)
1	JALA	PE do Jalapão	TO	34	Antar (2015)
2	ARAG	PE do Araguaia	MT	30	Marimon <i>et al.</i> (2012)
3	CATO	Catolés (dentro da APA Serra do Barbado)	BA	41	Zappi <i>et al.</i> (2003)
4	VEAD	PARNA Chapada dos Veadeiros	GO	100	Munhoz & Proença (1998)
5	MESA	UHE Serra da Mesa	GO	54	Walter (2000)
6	TRIJ	Fazenda Trijunção	BA	36	Ribeiro <i>et al.</i> (2001)
7	SERT	PARNA Grande Sertões Veredas	MG	76	Brasil (2003)
8	CAFU	APA de Cafuringa	DF	95	Brasil (2006)
9	PNB	PARNA de Brasília	DF	61	Reis (2013)
10	PEBS	PE Bernardo Sayão	DF	70	Gouvêa (2018)
11	RIFU	ARIE Riacho Fundo	DF	83	da Silva & Filgueiras (2003)
12	MOGO	PE Grão Mogol	MG	36	Longhi-Wagner & Todeschini (2004)
13	EMAS	PE das Emas	GO	41	Batalha (2001)
14	SUCU	Complexo de APAs Aporé-Sucuriú	MS	43	Pott <i>et al.</i> (2006)
15	UBER	Fazenda em Uberlândia	MG	35	Oliveira (2005)
16	CIPO	PARNA Serra do Cipó	MG	85	Giulietti <i>et al.</i> (1987)
17	LAGO	APA Lagoa Santa	MG	52	Warming & Ferri (1973)
18	CALC	PE Serra do Rola-Moça e Serra da Calçada	MG	37	Viana & Lombardi (2007)
19	FURN	PE das Furnas do Bom Jesus	SP	70	Sasaski & Mello-Silva (2008)
20	ITAC	PE do Itacolomi	MG	60	Messias <i>et al.</i> (2017)
21	OURO	PE Serra do Ouro Branco	MG	32	Longhi-Wagner & Welker (2012)
22	CANA	PARNA Serra da Canastra	MG	53	Santana <i>et al.</i> (2011)
23	CHAC	Chaco	MS	34	Sartori <i>et al.</i> (2018)
24	IBIT	PE do Ibitipoca	MG	52	Forzza <i>et al.</i> (2013); Dias-Melo <i>et al.</i> (2009)
25	TOCA	MONA Toca dos Urubus e Mãe d'Água	MG	39	Ferreira & Forzza (2009)
26	MOGI	REBIO de Mogi Guaçu	SP	77	Eiten (1963); Mantovanil & Martins (1993); Rodrigues & Filgueiras (2014)
27	MAQU	Fazenda Máquina	SP	31	Tannus & Assis (2004)
28	PECE	PE do Cerrado	PR	45	Von Linsingen <i>et al.</i> (2006)

(Unidades da Federação (UF): BA: Bahia; DF: Distrito Federal; GO: Goiás; MA: Maranhão; MG: Minas Gerais; MS: Mato Grosso do Sul; MT: Mato Grosso; PI: Piauí; PR: Paraná; SP: São Paulo; TO: Tocantins. APA: Área de Proteção Ambiental; ARIE: Área de Relevante Interesse Ecológico; MONA: Monumento Natural; PARNA: Parque Nacional; PE: Parque Estadual; REBIO: Reserva Biológica; UHE: Usina hidroelétrica.)

Similaridade florística

As espécies presentes em seus respectivos sítios de ocorrência foram organizadas em matriz de presença/ausência. A matriz foi utilizada como base de dados para gerar os índices de similaridade de Jaccard (Apêndice 2). Utilizamos o teste de Mantel para determinar se as similaridades na composição da flora estavam correlacionadas com as similaridades nas variáveis ambientais (que serão tratadas adiante), distúrbios e distância geográfica. Usamos a forma estatística não-normalizada do teste de Mantel (que calcula o coeficiente de correlação *rho* de Spearman em vez da correlação de Pearson) para reduzir o efeito de valores discrepantes e explicar possíveis relações não-lineares entre variáveis. A significância estatística de cada correlação foi determinada por um teste de Monte Carlo com 999 permutações. Também realizamos testes parciais de Mantel para verificar se as variáveis ambientais e os distúrbios permaneceram correlacionados após o efeito da distância geográfica ter sido considerado (Legendre & Legendre, 2012). Os passos supramencionados foram realizados através do pacote “vegan” (Oksanen *et al.*, 2013) do software R Studio (R Core Team, 2019).

Para investigar a influência das variáveis ambientais nos níveis de similaridade, diversidade taxonômica e via metabólica foi utilizada regressão linear múltipla. Os quatro principais gradientes ambientais (eixos das análises de componentes principais - PCAs) foram utilizados como variáveis explicativas (testadas pelo teste t) e cada parâmetro de vegetação como variável de resposta. Foram ao todo três análises: (1) fatores climáticos provenientes da plataforma WorldClim v.2 (Fick & Hijmans, 2017); (2) parâmetros físico-químicos dos solos a partir do banco de dados *The Harmonized World Soil Database* da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (Nachtergaele *et al.*, 2010); e (3) a matriz de perturbação extraída do portal MapBiomas (Projeto MapBiomas, 2018) a partir de *buffer* (área delimitada virtualmente) em volta dos sítios abordadas. Para investigar os efeitos dos gradientes ambientais nos gradientes de composição da vegetação, diversidade e dominância de espécies e funcional (via metabólica), utilizamos regressão linear múltipla e “krigagem” ordinária (triangulação). Para garantir a multicolinearidade dos modelos as variáveis foram testadas quanto ao fator de inflação de variância (VIF).

Classificação de vias fotossintéticas para as espécies

Todas as espécies foram classificadas em C₃ ou C₄ com base nas vias fotossintéticas identificadas por Soreng *et al.* (2017) e Osborne *et al.* (2014). A classificação da via fotossintética de Poaceae nesses trabalhos é baseada principalmente na anatomia foliar (presença/ausência de bainha

Kranz, ver Downton, 1971) ou na proporção dos isótopos de carbono ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, ver Cerling *et al.*, 1997). Também foram utilizados outros métodos baseados nas características fisiológicas do metabolismo C_4 (por exemplo, baixo ponto de compensação de CO_2 e evidência bioquímica da via C_4) e na inferência taxonômica (por exemplo, quando todas as espécies pertencentes a um gênero apresentam o mesmo tipo de metabolismo) para completar a classificação da via fotossintética em nível de espécie (Soreng *et al.*, 2017; Osborne *et al.*, 2014). A relação da classificação da via fotossintética das espécies pode ser encontrada no Apêndice 1.

Diversidade taxonômica

Para cada sítio, avaliamos a riqueza de espécies e a proporção relativa de cada gênero, subtribo, tribo e subfamília, de acordo com a classificação de Soreng *et al.* (2017). Para avaliar a relação filogenética entre nosso conjunto de dados de espécies, criamos uma matriz taxonômica classificando todas as espécies em seu respectivo gênero, subtribo, tribo e subfamília (ver Apêndice 1), cruzando a matriz de ausência e presença de espécies entre os sítios estudados. Em seguida, calculamos a distinção taxonômica média (AvTD, Clarke & Warwick, 2001) para cada local (Apêndice 3). O índice AvTD combina a riqueza de espécies e a estrutura taxonômica para estimar a diversidade filogenética da comunidade (Gwali *et al.*, 2010). O AvTD é calculado como a soma de todos os comprimentos dos ramos que conectam duas espécies aleatórias, em média com todas as outras espécies, representando assim a distância média entre duas espécies escolhidas aleatoriamente na comunidade (Gallardo *et al.*, 2011; Warwick & Clarke, 1995). Valores altos de AvTD indicam que as espécies de uma comunidade são mais distintas filogeneticamente, isto é, pertencem a diferentes gêneros, subtribos, tribos e subfamílias, em vez das métricas tradicionais de riqueza de espécies. O índice de distinção taxonômica média foi calculado usando o pacote "vegan" (Oksanen *et al.*, 2013) no software R 3.5.3 (R Core Team, 2019). Informações adicionais sobre dados de relação filogenética das espécies podem ser encontradas no Apêndice 1.

Variáveis ambientais e distúrbio

A partir das coordenadas de cada local, obtivemos 43 variáveis ambientais (ver Apêndice 4, Apêndice 5 e Apêndice 6) que são geralmente relatadas como potenciais direcionadores da distribuição de espécies de plantas, da produtividade e da funcionalidade geral dos ecossistemas (Poorter *et al.*, 2017; Le Roux *et al.*, 2013; Pyke *et al.*, 2001). Dessas, obtivemos 19 variáveis bioclimáticas do WorldClim (Fick & Hijmans, 2017; <http://www.worldclim.org/bioclim>). O modelo digital de elevação (incluindo altitude e declividade em resolução espacial de 30 m) foi obtido por meio do Banco de

Dados Geomorfométricos do Brasil - Projeto Topodata (Valeriano, 2005). Dados de topo do solo contendo proporção de areia, silte e argila, pH em água, carbono orgânico, bases totais permutáveis (TEB, soma dos cátions base Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} e Na^{+} em centimol por quilograma de solo) e capacidade de troca catiônica (CEC, a soma de TEB e Al^{3+}) foram obtidos no *The Harmonized World Soil Database* (HWSD versão 1.2, Nachtergaele *et al.*, 2010). Incluímos tanto o TEB como o CEC porque o segundo incorpora Al^{3+} e é um importante impulsionador da distribuição de espécies vegetais no Cerrado (Poorter *et al.*, 2017).

O distúrbio foi avaliado através de algumas características potenciais, como a extensão do local do estudo (ha), o fator de forma ($F = \sqrt{\text{área/perímetro}}$) e a cobertura do solo na matriz de entorno. Fator de forma leva em consideração o estreitamento da forma do fragmento, no sentido de ponderar perturbações ligadas ao efeito de borda (Viana & Pinheiro, 1998). O mapeamento da cobertura e do uso da terra da matriz de entorno foi obtido no projeto de mapeamento MapBiomas (<http://mapbiomas.org/>). Os dados do MapBiomas estão disponíveis para toda a extensão brasileira e classificam o uso da terra em uma resolução espacial de 30 m em várias categorias, incluindo cobertura nativa (campo, savana e cobertura florestal) e atividades antrópicas (silvicultura, culturas rotativas, pastagens e infraestrutura urbana). Obtivemos os dados de uso da terra da matriz de entorno com base em um *buffer* de 100 m do polígono de cada sítio durante os anos de 1985 e 2000 (já que a maioria dos estudos de levantamentos florísticos foi realizada nesse período).

Para avaliar os gradientes ambientais e de perturbação entre os sítios de estudo, executamos a análise de componentes principais (PCA), incluindo variáveis bioclimáticas e altitude (PCA Clima), dados edáficos e declividade (PCA Solo) e variáveis de distúrbio (PCA Distúrbio). Utilizamos a função *rda* do pacote *vegan* R (Oksanen *et al.*, 2013) para executar análises de componentes principais. Consideramos os dois primeiros eixos de cada PCA como resumos da variação desses componentes abióticos.

RESULTADOS

Padrão de diversidade de Poaceae

Nosso conjunto de dados incluiu 332 espécies pertencentes a 73 gêneros, 31 subtribos, 14 tribos e sete subfamílias. A proporção relativa de subfamílias e tribos pode ser visualizada na Figura 2. As subfamílias com maior riqueza foram Panicoideae (255 espécies, 76,8% de todas as espécies) e Chloridoideae (47 spp., 14,2%). A tribo mais rica foi Paspaleae (157 spp., 47,3% de todas as espécies), seguida por Paniceae (51 spp., 15,4%) e Andropogoneae (43 spp., 13%). O gênero com maior riqueza foi *Paspalum* L. (77 spp., 23,2% de todas as espécies) e outros cinco gêneros apresentaram mais de 10 espécies: *Axonopus* P. Beauv. (23 spp.), *Eragrostis* Wolf (18 spp.), *Aristida* L. (16 spp.), *Panicum* L. (16 spp.) e *Andropogon* L. (13 spp.). O clado PACMAD inclui 95% das espécies amostradas, ao passo que o BOP representa os 5% restantes. A relação dos dados supramencionados pode ser encontrada no Apêndice 1.

Encontramos forte variabilidade na composição dos táxons de Poaceae nos locais de estudo, demonstrando grande diversidade filogenética da família no Cerrado. Dezoito gêneros ocorrem em apenas um dos sítios analisados; por outro lado, *Eragrostis* e *Paspalum* ocorrem em todos os sítios. Em nível específico, 129 espécies ocorrem em apenas um sítio, enquanto 29 espécies ocorrem em mais da metade dos sítios. As espécies mais abrangentes foram: *Anthaenantia lanata* (Kunth) Benth., ocorrendo em 78% dos sítios, e *Trachypogon spicatus* (L.f.) Kuntze, em 75% dos sítios.

Na análise de similaridade, Chaco apresentou a menor similaridade com os demais sítios, apresentando índices de similaridade de Jaccard de zero (0,00) com as fazendas Trijunção, Máquina, Uberlândia e com o PE de Grão Mogol (ver Apêndice 2). Os sítios PE do Jalapão e PE do Araguaia estão também distantes da grande maioria dos demais. A maior similaridade foi encontrada entre ARIE Riacho Fundo e PARNA Serra da Canastra (0,62), seguido por PE do Cerrado com APA de Cafuringa (0,49), e ARIE Riacho Fundo com PE do Cerrado (0,43). A média das similaridades está entre 0,04 e 0,30, poucos tendo índices maiores que 0,40 (Apêndice 2). Sítios do Distrito Federal e do nordeste de Goiás possuem grande similaridade, além de se relacionar, em menor grau, com sítios de Minas Gerais. Os sítios de Minas Gerais, no entanto, juntamente com Catolés estão intimamente ligados entre si.

A maior ocorrência das subfamílias Panicoideae e Aristidoideae está ligada aos sítios que se agrupam na área *core* do Cerrado, ao passo que os sítios da Cadeia do Espinhaço e demais serras de Minas Gerais são caracterizados pela maior ocorrência de Bambusoideae e Pooideae (Figura 3). As subfamílias Panicoideae e Aristidoideae estão relacionadas com maiores temperaturas e menor precipitação total (PCA Clima 1), e maior sazonalidade (PCA Clima 2). O padrão inverso é encontrado mais ao Sul, onde a subfamília Danthonioideae está fortemente presente no PE do Cerrado, enquanto

Oryzoideae aparece apenas no Chaco (Figura 3). Essas subfamílias estão em conformidade com solos mais férteis (PCA Solo 2) e menor sazonalidade (PCA Clima 2). O adicional de subfamílias no Chaco e na porção Leste do bioma confere a essas áreas uma maior diversidade taxonômica (Figura 4A).

A grande maioria das gramíneas do Cerrado em nossa amostragem apresenta via metabólica do tipo C_4 , em um total de 78.6% das espécies compiladas. Espécies C_3 e de metabolismo intermediário contabilizam 20.8% e 0.6%, respectivamente. As únicas subfamílias completamente C_3 são Bambusoideae, Danthonioideae, Oryzoideae e Pooideae. As espécies C_3 têm suas ocorrências voltadas principalmente ao Leste do polígono, em sítios de Minas Gerais e Bahia (Figura 4B). As porcentagens da composição de diferentes metabolismos fotossintéticos por sítio constam no Apêndice 3. As subfamílias Panicoideae e Pooideae possuem espécies com vias metabólicas variadas, apresentando em nossa lista as proporções de 54/199 e 1/15 entre as vias C_3/C_4 , respectivamente. Panicoideae apresentou também duas espécies de metabolismo intermediário entre C_3 e C_4 , sendo a única subfamília com tal característica. Por outro lado, em Chloridoideae ocorre apenas o metabolismo C_4 . Para a relação da via fotossintética correspondente a cada espécie ver Apêndice 1.

. Esse fato resulta no *range* apresentado na Figura 4C onde é ilustrado o padrão de dissimilaridade provocada pela composição de diferentes subfamílias entre os sítios. As subfamílias responsáveis em maior peso pela tendência são as citadas na ordenação da Figura 3: Bambusoideae, Danthonioideae, Oryzoideae e Pooideae.

O número de espécies amostradas por sítio (Figura 4D) foi maior nas UC do Distrito Federal e do Norte de Goiás. Vale ressaltar que esses números são resultantes do processo descrito na metodologia, como a exclusão de espécies exóticas e exclusivamente florestais, e não necessariamente representam o número total relatado pelos autores dos levantamentos florísticos. Os números de espécies para os respectivos sítios são apresentados também na Tabela 1.

Gradientes ambientais

O primeiro eixo da PCA Clima (PCA Clima 1) explicou 45,7% da variação total e foi positivamente relacionado às temperaturas ao longo do ano e negativamente às precipitações nos períodos mais secos e mais quentes do ano. O segundo eixo (PCA Clima 2) explicou 30,5% da variação total e foi positivamente relacionado à precipitação anual e à sazonalidade da precipitação e negativamente à precipitação nos períodos mais secos e mais quentes do ano (Figura 5). Portanto, o PCA Clima 1 foi usado como proxy para indicar a temperatura e o maior déficit hídrico para as plantas, e o PCA Clima 2 foi usado como proxy da sazonalidade da precipitação, com a maior precipitação anual, a menor sazonalidade e, portanto, a maior disponibilidade de água, especialmente durante os períodos severos.

O primeiro eixo separa os locais mais quentes do Norte, como PE do Jalapão e PE de Araguaia, dos locais mais altos e frios, como PE do Ibitipoca. O segundo eixo separa sítios com menor sazonalidade e maior precipitação, como o PE do Cerrado e Chaco, de sítios com maior estresse hídrico como PARNA da Chapada dos Veadeiros e PE da Serra da Calçada (Figura 5). Os valores de cada uma das variáveis climáticas estão discriminados no Apêndice 4.

O primeiro eixo da PCA Solo (PCA Solo 1) explicou 45,4% da variação total e foi positivamente relacionado ao teor de argila, carbono orgânico e capacidade de troca catiônica. Esses parâmetros atuam fortemente separando locais como PE do Araguaia, PE do Ibitipoca e MONA Toca dos Urubus e Mãe d'Água. O segundo eixo (PCA Solo 2) explicou 18,2% da variação total e foi positivamente relacionado ao pH e bases totais permutáveis (TEB) (Figura 6). Portanto, o PCA Solo 1 foi utilizado como *proxy* da umidade do solo e o PCA Solo 2 como *proxy* para indicar a fertilidade do solo e menor disponibilidade de alumínio. As variáveis pedológicas para cada um dos sítios estão discriminadas no Apêndice 5.

A PCA Distúrbio, que leva em conta características da forma e estado de conservação do entorno dos sítios, separa os mesmos, principalmente, pela diferença entre presença de áreas naturais e de áreas alteradas (Figura 7). O primeiro eixo, que conseguiu explicar 45,4% da variância total na separação dos sítios, foi representado pelo *proxy* de sítios maiores, como PE do Jalapão e PARNA da Chapada dos Veadeiros, e à forma dos polígonos dos sítios, o que está ligado à maior ou menor susceptibilidade ao efeito de borda. Desse modo, sítios mais alongados como o Complexo de APAs do Aporé-Sucuriú apresentam maior chance de distúrbio, o que pesa na sua composição em relação a sítios mais concêntricos, como a grande maioria dos demais. O segundo eixo explica 32,7% e representa maior semelhança entre a matriz de entorno e a composição natural do fragmento. Destaca, portanto, a separação entre sítios mais isolados, como PE do Jalapão, e UC de menor grau de proteção como o Complexo de APAs do Aporé-Sucuriú ou áreas rurais (Fazendas em Uberlândia, Máquina e Chaco). O PARNA da Serra da Canastra possui a segunda maior área em extensão (Apêndice 6), mas também uma matriz de entorno pouco conservada.

Relações entre florística e variáveis ambientais

Os testes de Mantel mostraram que toda a composição para subfamílias, tribos, subtribos, gêneros e composição de espécies estava significativamente relacionada à distância geográfica entre os sítios de estudo (os coeficientes de Spearman-rho foram 0,33, 0,40, 0,40, 0,38 e 0,52, respectivamente, p valores <0,01). A ordenação em escalonamento multidimensional não métrico (nMDS) indicou que o PCA Clima 1 (temperatura e déficit hídrico maiores) foi o fator mais importante

na diversidade dos táxons entre os sítios de estudo, ou seja, maior estresse é significativamente relacionado a toda a composição dos táxons. O PCA Solo 2, que corresponde à fertilidade do solo, foi relacionado à diversidade nas subfamílias e composição das espécies, assim como a cobertura da matriz circundante (Figura 8).

Regressões múltiplas e ordenações

Regressões múltiplas mostraram que todas as variáveis de vegetação (riqueza de espécies, AvTD e % C₃) estavam significativamente relacionadas a uma ou mais variáveis ambientais (PCAs Clima, Solo e Distúrbios (Apêndice 7). Descobrimos que a riqueza de espécies (Figura 4D, R² = 0,43) foi principalmente direcionada pelo PCA Dist 1 (coeficiente de regressão padronizado β = 0,60), seguido pelo PCA Clima 2 (β = -0,20), indicando que as comunidades têm mais espécies de Poaceae em sítios maiores e com menor sazonalidade, bem como com maior disponibilidade de água durante os períodos mais quentes e secos do ano. A distinção taxonômica média (AvTD, Figura 4A, CR² = 0,36) foi conduzida pelo PCA Clima 1 (β = -0,60) e PCA Dist 2 (β = 0,45), indicando que a comunidade de Poaceae é mais distinta, filogeneticamente, onde a temperatura e déficit de água são menores (Figura 8). A porcentagem de espécies C₃ (Figura 4B, R² = 0,37) foi conduzida pelo PCA Clima 1 (β = -0,64) e PCA Dist 2 (β = 0,55), indicando que a porcentagem de espécies de Poaceae com via metabólica C₃ é maior em sítios com menor sazonalidade e maior disponibilidade de água durante os períodos mais quentes e secos do ano, e onde a matriz circundante é menos perturbada (maior cobertura nativa, Figura 8). Todos os valores referentes ao AvTD, porcentagem de espécies C₃ e diversidade funcional (RaoQ) estão discriminados no Apêndice 3.

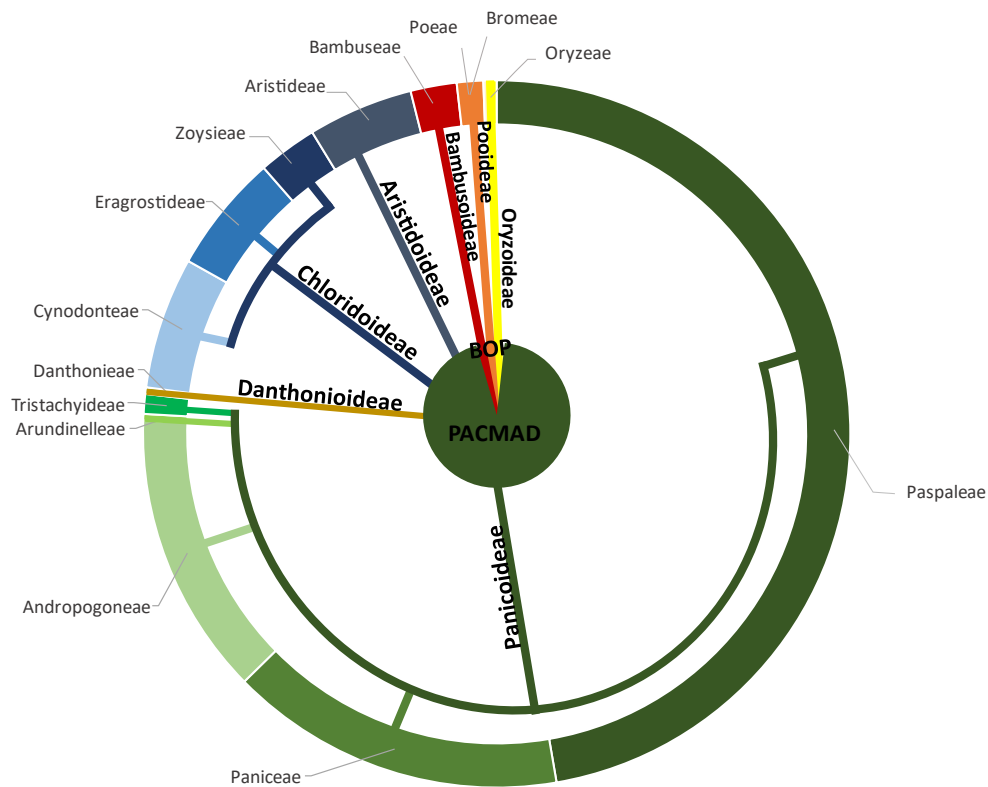


Figura 2: Relação filogenética em nível de subfamílias e tribos das espécies de Poaceae incluídas na matriz de dados. A relação segue as seguintes proporções: Paspaleae: 47,3%, Paniceae: 15,4%, Andropogoneae: 13%, Cynodonteae: 6%, Eragrostideae: 5,4%, Aristideae: 4,8%, Zoysieae: 2,7%, Bambuseae: 2,1%, Poeae: 1,2%, Tristachyideae: 0,9%, Arundinelleae: 0,3%, Bromeae: 0,3%, Danthoneiae: 0,3% e Oryzeae: 0,3% para tribos. Panicoideae: 76,8%, Chloridoideae: 14,2%, Aristidoideae: 4,8%, Bambusoideae: 2,1%, Pooideae: 1,5%, Danthonioideae: 0,3% e Oryzoideae: 0,3% para subfamílias. PACMAD: 95% e BOP: 5% para clados.

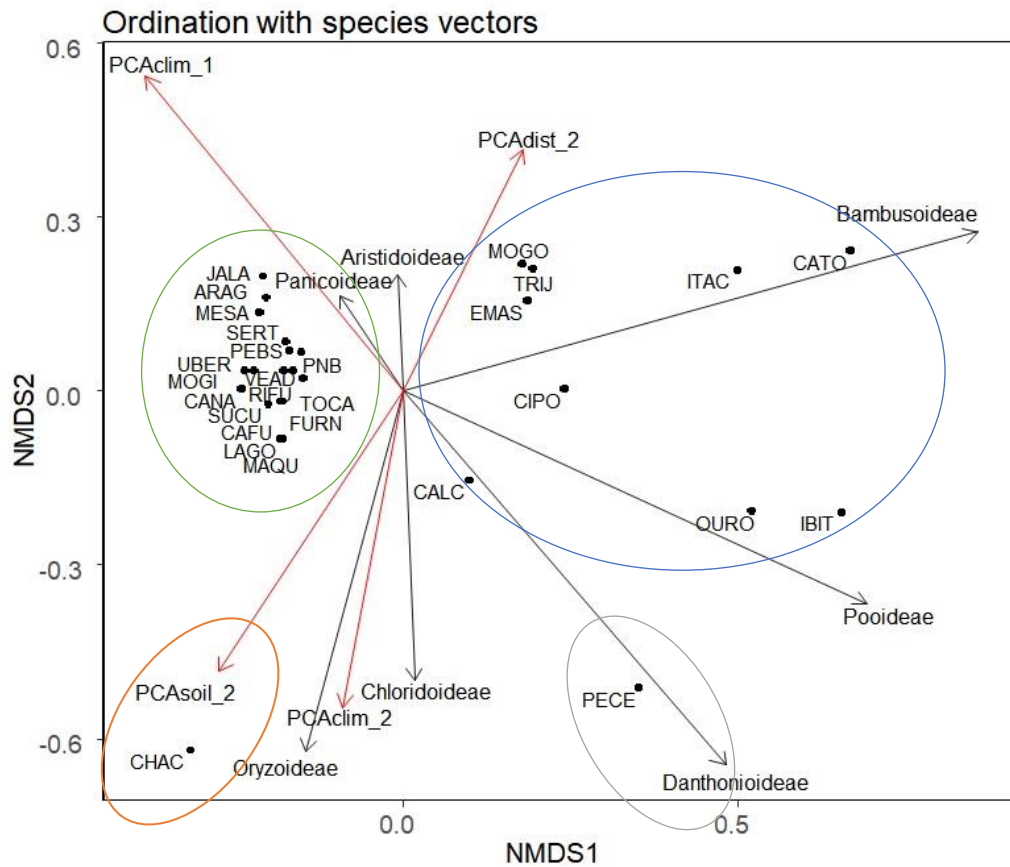


Figura 3: Escalonamento multidimensional não-métrico (nMDS) entre as principais subfamílias direcionadoras da similaridade entre os 28 sítios e a relação dessas com os *proxy* de maior temperatura e menor precipitação (PCA Clima 1), de menor sazonalidade (PCA Clima 2), de fertilidade do solo (PCA Solo 2) e de conservação da matriz de entorno (PCA Dist 2). O comprimento das setas indica quão determinante é o atributo na separação dos sítios. Sítios estão nomeados de acordo com a Tabela 1 e a Figura 1.

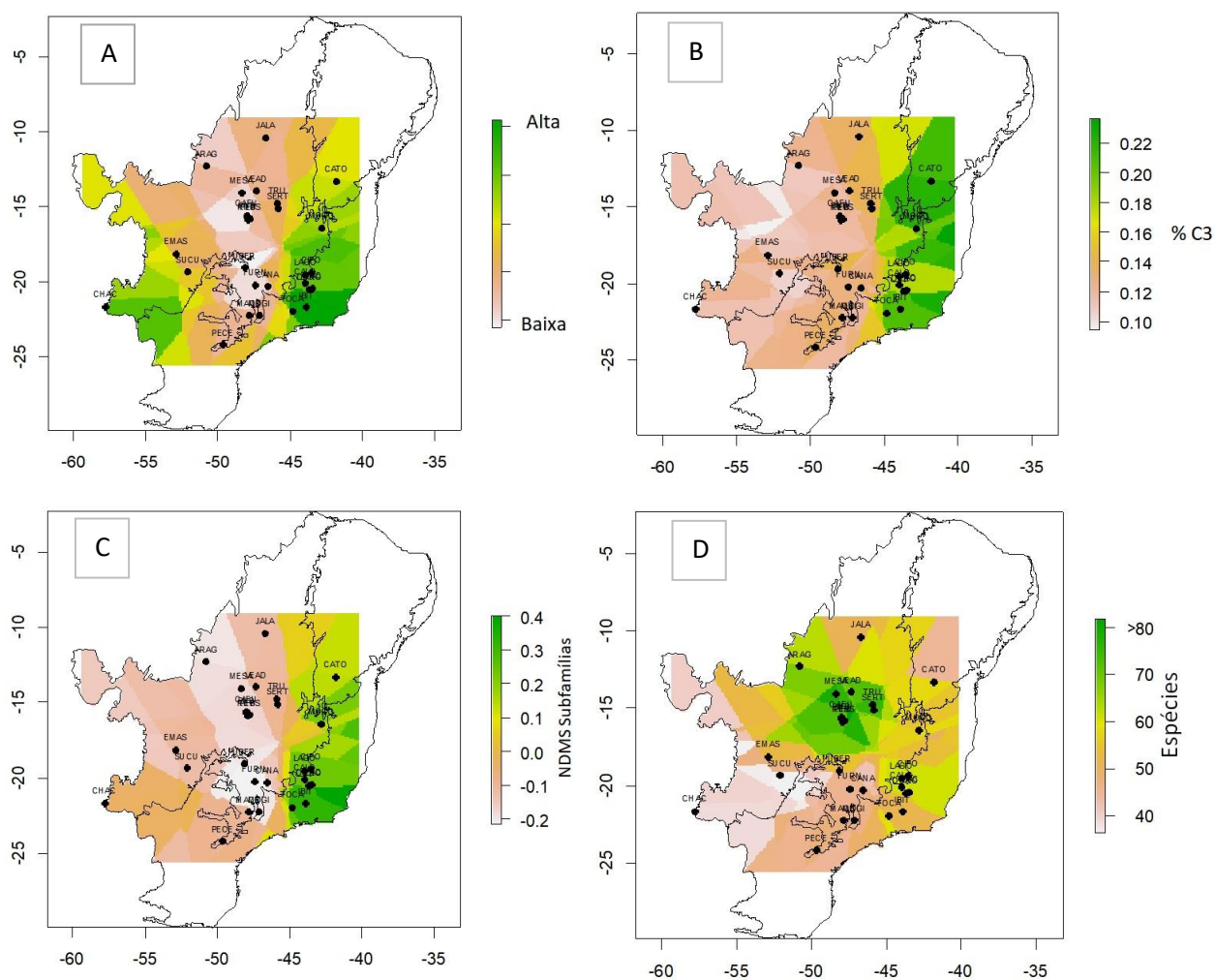


Figura 4: Interpolação dos valores dos padrões de distribuição dos parâmetros de diversidade florística. A - Diversidade taxonômica (AvTD); B - Porcentagem de espécies C₃; C - Dissimilaridade entre as composições de subfamílias (nMDS de subfamílias); D - Número de espécies amostradas.

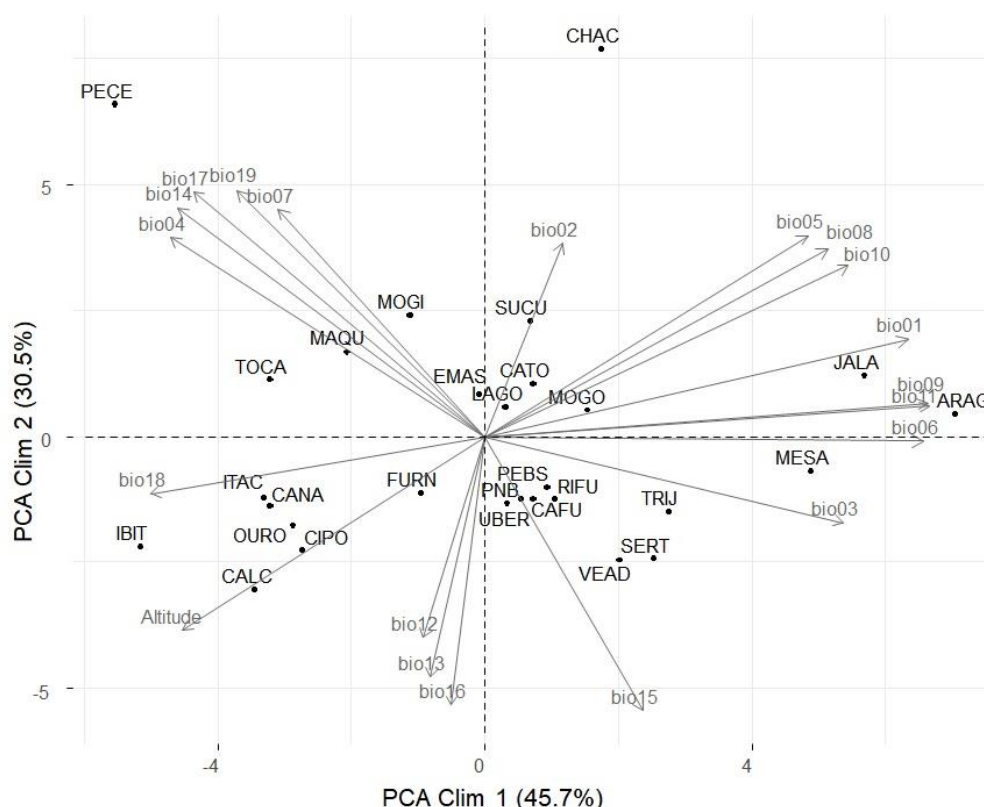


Figura 5: Análise de componentes principais climáticos (PCA Clima). Sítios estão nomeados de acordo com a Tabela 1 e Figura 1. (bio1: Temperatura média anual; bio2: Faixa diurna média [média do mês (temperatura máxima - temperatura mínima)]; bio3: Isotérmica (bio2 / bio7) (* 100); bio4: Sazonalidade da temperatura (desvio padrão * 100); bio5: Temperatura máxima do mês mais quente; bio6: Temperatura mínima do mês mais frio; bio7: Faixa anual de temperatura (bio5 - bio6); bio8: Temperatura média do quadrimestre mais úmido; bio9 Temperatura média do quadrimestre mais seco; bio10: Temperatura média do trimestre mais quente; bio11: Temperatura média do quadrimestre mais frio; bio12: Precipitação anual; bio13: Precipitação do mês mais chuvoso; bio14: Precipitação do mês mais seco; bio15: Sazonalidade da precipitação (coeficiente de variação); bio16: Precipitação do quadrimestre mais chuvoso; bio17: Precipitação do quadrimestre mais seco; bio18: Precipitação do trimestre mais quente; bio19: Precipitação do trimestre mais frio).

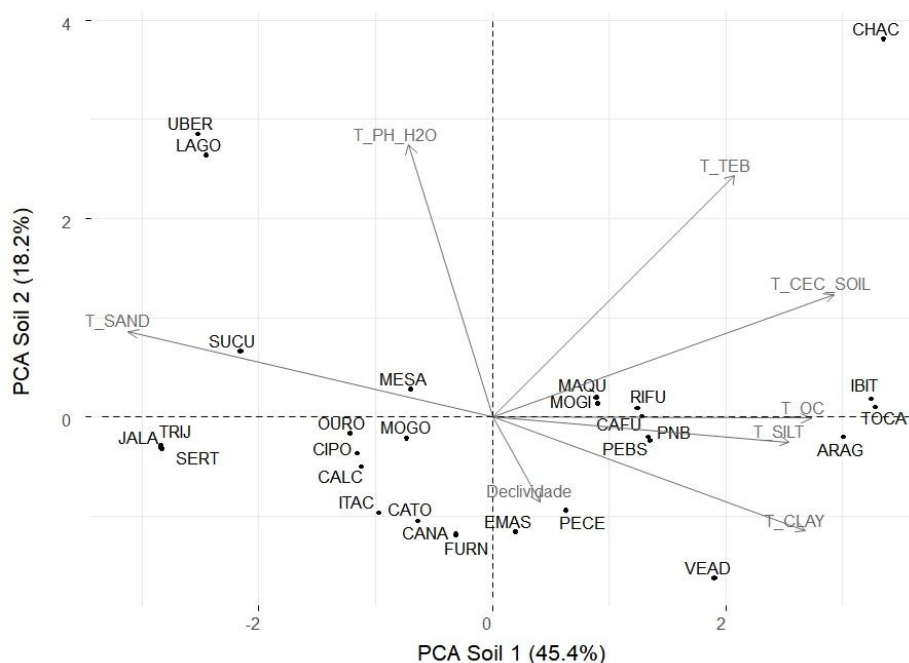


Figura 6: Análise de componentes principais edáficas (PCA Solo) a partir de parâmetros de superfície. Sítios estão nomeados de acordo com a Tabela 1 e a Figura 1. (T_PH_H2O: pH em água; T_BS: soma de bases; T_TEB: total de bases trocáveis; T_SAND: areia; T_CLAY: argila; T_OC: carbono orgânico).

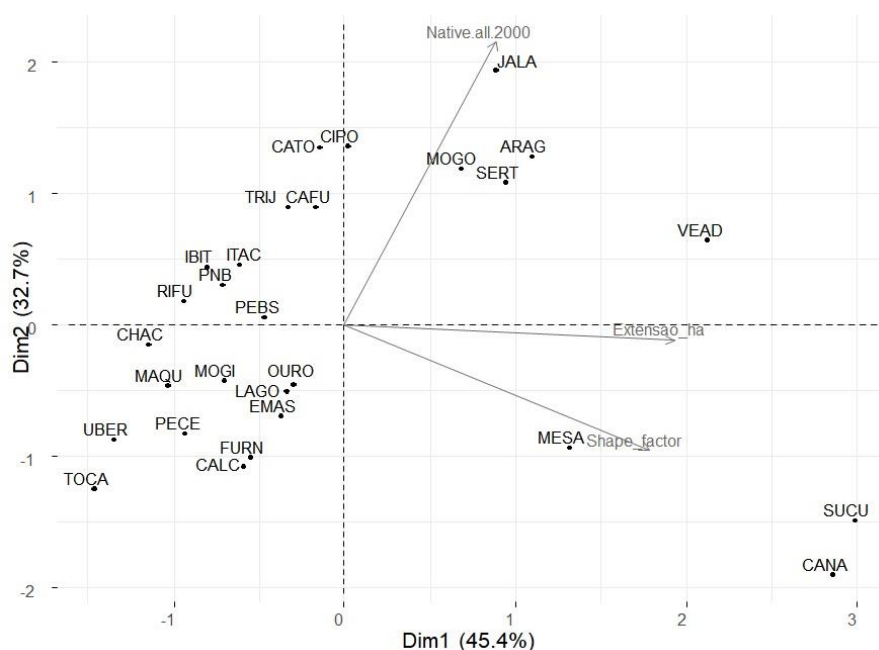


Figura 7: Análise de componentes principais dos caracteres de distúrbio (PCA Distúrbio). Sítios estão nomeados de acordo com a Tabela 1 e a Figura 1. (Extensão_ha: extensão do sítio em hectares; Shape_factor: fator do estreitamento; Native.all.2000: presença de áreas naturais na matriz de entorno com ano base em 2000).

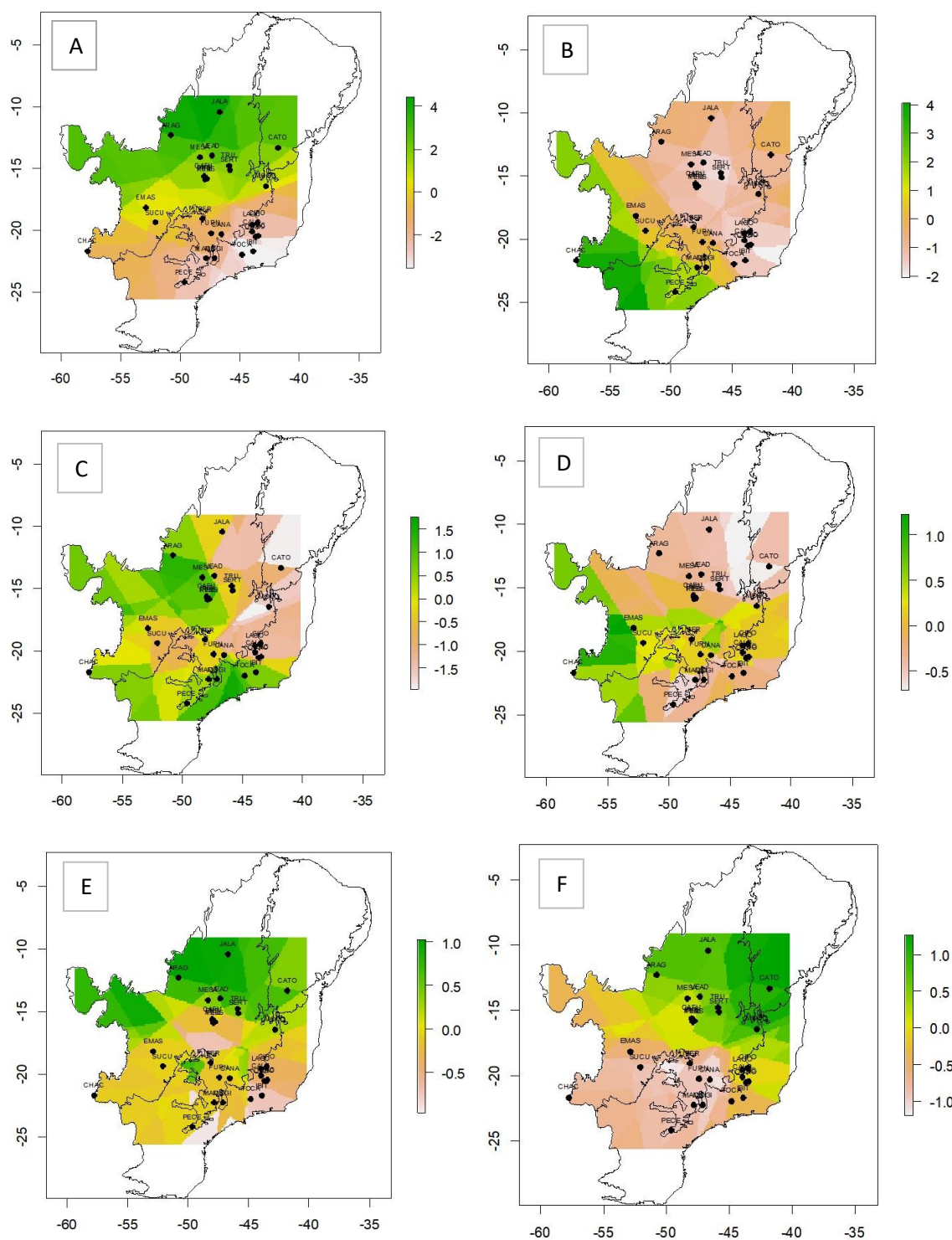


Figura 8: Mapas de interpolação das análises de componentes principais (PCA) dos gradientes ambientais. A - PCA Clima 1; B - PCA Clima 2; C - PCA Solo 1; D - PCA Solo 2; E - PCA Distúrbio 1; F - PCA Distúrbio 2. Os valores na escala representam o gradiente de cada um dos eixos apresentados nas Figura 5, Figura 6 Figura 7.

DISCUSSÃO

Grande parte da literatura disponível sobre o Cerrado leva em consideração apenas o estrato arbóreo, estando o estrato herbáceo geralmente limitado a estudos de famílias botânicas específicas. O mesmo padrão na literatura foi relatado por Canché-Estrada *et al.* (2018) em estudo da vegetação savânica no México, o que demonstra uma lacuna no conhecimento de nossa diversidade.

A baixa similaridade entre os sítios estudados se deve, provavelmente, às grandes distâncias e aos fatores climáticos e edáficos. A distribuição dos táxons parece estar estritamente relacionada com barreiras e filtros desempenhados pela topografia, assim como verificado por da Silva *et al.* (2016) ao analisarem a estrutura populacional de *Chascolytrum bulbosum* (Parodi) L. Essi, Longhi-Wagner & Souza-Chies sobre o escudo gaúcho no estado do Rio Grande do Sul.

Encontramos um alto número de espécies restritas a um único sítio (cerca de 50%) e nenhuma espécie que ocorre em todos os sítios, resultados próximos aos encontrados por Garcia *et al.* (2009) e Longhi-Wagner *et al.* (2012) que reportaram poucas espécies generalistas. Por outro lado, adotamos uma abordagem diferente ao não ignorar espécies com ocorrência restrita a um só sítio, como feito em Garcia *et al.* (2009), ou executando duas análises, com e sem essas espécies, como Longhi-Wagner *et al.* (2012). Nesse ponto, concordamos que a condição natural de ocorrência reflete características importantes que não devem ser tratadas como vieses prejudiciais à análise estatística. Isto também justifica a utilização do coeficiente de Jaccard para o tratamento de similaridade que, apesar de possuir relação linear com o coeficiente de Sorensen-Dice (Meyer, 2002), exclui ausências comuns, destacando endemismos.

Podemos descrever o padrão de similaridade entre os sítios em dois grandes grupos, sendo eles (1) a área *core* do cerrado e (2) os campos da Cadeia do Espinhaço e demais serras mineiras. Pontos mais isolados, como PE do Cerrado e Chaco, parecem indicar um padrão de áreas diferentes das demais. As porções meridional e de extremo Oeste do Cerrado, portanto, podem possuir floras distintas, no entanto, esses locais não possuem dados completos na literatura (Figura 3). A mesma lacuna nos leva a inferir que os estados do Cerrado setentrional apresentariam também diferenças florísticas proeminentes, hipótese que poderia ser desvendada caso houvesse dados abrangendo essas áreas. Tal circunstância nos alerta para o risco que a biodiversidade dessas áreas corre estando sob a sombra do desconhecimento científico e sob intensa expansão de atividades humanas.

Em concordância com o que descreveram Allem & Valls (1987), encontramos que a composição de gramíneas do Pantanal é fortemente destoante daquela encontrada no Cerrado (Figura 3). A vegetação chaquenha compreende uma estreita faixa ao longo do rio Paraguai com cerca de 70.000 km² (Prado, 1993; Hueck, 1972) entre o Cerrado e florestas estacionais do Pantanal (Sartori,

2012). Essa vegetação se apresenta desde savanas florestadas até campos nativos, passando inclusive por formações estépicas (Veloso et al., 1992). Desse modo, as gramíneas ocorrentes na região do Chaco brasileiro isolam esse sítio dos demais analisados no coeficiente de similaridade de Jaccard (Apêndice 2), mostrando que, são largas as diferenças florísticas entre um ecótono Cerrado-Pantanal e outros sítios. Embora a relação encontrada no que se refere às espécies de Poaceae seja insipiente, Cerrado e Chaco ainda possuem uma ligação histórica forte e um compartilhamento atual de uma gama faunística ligada a campos sazonalmente secos, muito mais forte do que o encontrado entre Cerrado e Caatinga (Colli, 2005; Porzecanski & Cracraft, 2005; Zanella & Martins, 2003). Isto sugere que a investigação das relações florísticas entre os dois sítios, seguindo a visão do provincialismo, compreende também um esforço comum entre as ações de conservação do Cerrado e do Chaco.

Um pequeno número de espécies subtropicais de Poaceae se estende ao sudeste e centro do Brasil ao longo de cadeias montanhosas (Longhi-Wagner & Zanin, 1998), o que explica a restrita ocorrência da subfamília Pooideae no PE do Ibitipoca, que se encontra no Cinturão Orogênico do Atlântico, sobre o Planalto de Andrelândia, a 1.500 metros de altitude, o mais alto dos sítios, em temperaturas que permanecem entre 8° e 24,6°C (Fick & Hijmans, 2017).

A diversidade taxonômica (nMDS das subfamílias, Figura 4C) mostrou-se diretamente relacionada à diversidade funcional. A presença de espécies de subfamílias predominantemente C₃, em sítios também com espécies de gramíneas C₄, leva a estes sítios maior variabilidade genética e, por isso, as alterações dos espaços naturais que possam suprimir um nicho funcional ameaçam diretamente a diversidade de Poaceae nesses sítios. Ora, vimos que a ocorrência de gramíneas C₃ é exclusiva, em nossa amostragem, onde a temperatura e déficit hídrico são menores, atribuindo a esses ambientes a ocorrência de Pooideae e Danthonoideae, subfamílias que não ocorrem em sítios onde as amplitudes ambientais são maiores (maiores temperaturas e déficit hídrico). Foi verificado também, que a riqueza de espécies e a diversidade taxonômica está diretamente ligada à extensão dos fragmentos e à conservação de seu entorno. Nesse sentido, chamamos a atenção para o esforço de conservação da Cadeia do Espinhaço, Reserva Mundial da Biosfera de notória biodiversidade reconhecida e que concentra, em nossas análises, problemáticas envolvidas aos padrões aqui enunciados, como já denunciado por Viana & Lombardi (2007) ao relatarem atividade de mineração e a fragmentação envolvendo os campos rupestres. Somados à mineração, estão a erosão e instabilidade do solo, expansão urbana e agropecuária, queimadas e retirada de plantas ornamentais (Ribeiro & Freitas, 2010).

De acordo com França *et al.* (2019) e Amaral *et al.* (2017), a similaridade entre sítios do Cerrado traz resultados diferentes quando analisados os estratos subarbustivos e arbóreos separadamente. No entanto, encontramos, na composição de gramíneas da região do Distrito Federal,

resultados parecidos com a similaridade da vegetação arbórea descrita por França *et al.* (2019), o que reforça a hipótese de um distrito biogeográfico naquela região. A mesma composição de gramíneas da região do Distrito Federal relaciona-se com sítios distantes, como PARNA da Chapada dos Veadeiros e Grande Sertões Veredas, o que sugere que a composição de Poaceae não segue de perto as delimitações de regiões fitogeográficas de Amaral *et al.* (2017) ou de grupos de Ratter *et al.* (2003) já que esses trabalhos encontraram outros padrões de distribuição seguindo a composição de outras famílias vegetais.

Apesar da média de similaridade entre sítios distantes ser baixa, é curioso o fato de os maiores índices ocorrerem entre sítios distantes. Os índices entre ARIE Riacho Fundo e PARNA da Serra da Canastra (0,62), PE do Cerrado com APA de Cafuringa (0,49), e ARIE Riacho Fundo com PE do Cerrado (0,43), abrem campo para investigações da hipótese de um compartilhamento pretérito mais amplo da flora de Poaceae dentro do bioma Cerrado que teve, posteriormente, alguns sítios fragmentados e submetidos a perturbações e isolamento. Tal como encontramos, perturbações e isolamento têm peso fundamental na diferenciação das composições florísticas.

As interpolações dos dados florísticos e funcionais nos mapas da Figura 4 mostram que a ocorrência de espécies com via fotossintética C_3 está relacionada à altitude de sítios próximos ao Domínio Atlântico. Estas espécies se apresentam, em certo número, distribuídas em subfamílias comumente ombrófilas e/ou mesotérmicas. Na classificação de Burkart (1975), gramíneas mesotérmicas são aquelas que crescem onde médias anuais de temperatura estão entre 10 e 20°C, predominantemente em campos temperados, como as tribos Bambuseae, Arundineae, Danthonieae e Chlorideae dentre outras, em seu todo ou em parte do grupo (Burkart, 1975). Bambusoideae tem forte presença nos sítios da Cadeia do Espinhaço, que é limite geográfico entre os biomas Cerrado e Floresta Atlântica. Por outro lado, a subfamília Danthonoideae atua definitivamente em direção ao Sul, como mostramos em sua relação ao PE do Cerrado, sítio mais meridional de nossa amostragem (Figura 3).

Vários grupos em Poaceae têm padrões de distribuição altamente característicos ou associados a condições climáticas distintas (Garcia *et al.*, 2009). Em florestas tropicais na Bolívia, Toledo *et al.* (2011) observaram que o clima é um direcionador mais forte do que o solo ou fatores de distúrbio, no desenvolvimento da área basal. Sendo o clima fator preponderante na distribuição e *fitness* de plantas, isso revela importantes agravamentos no que tange à produtividade e ao sequestro de carbono em um cenário futuro de crise climática.

Tendências observadas por Pamplona (2019) em tratamento de dados do *Climate Research Unit* e *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data* mostram acentuação da sazonalidade em 23 Unidades de Conservação no Cerrado, e a correlação encontrada com o número de áreas incendiadas com a duração do período seco (que tende a ser maior) foi positiva. Em recorte

espacial mais regional, Silva *et al.* (2016) encontraram, analisando dados históricos de estações climatológicas, um aumento intenso da temperatura na região de ecótono entre Cerrado e Amazônia, no estado do Maranhão, além de confirmarem o aumento na amplitude de sazonalidade evidenciando períodos chuvosos mais intensos e períodos secos cada vez menos úmidos.

Desde a última década já havia alerta sobre a propensão de plantas C₄ invasoras serem beneficiadas pelas mudanças climáticas (Dukes & Mooney, 1999), em especial pelo aumento na concentração de CO₂ atmosférico e temperatura (Sage & Kubien, 2003; Patterson, 1995). Testando a resposta de *Setaria parviflora* (Poir.) Kerguelen (C₄) em ambiente controlado, Chuine *et al.* (2012) confirmaram que a planta com potencial invasor na Bacia do Mediterrâneo responde fortemente ao aquecimento, reduzindo o tempo do ciclo reprodutivo, aumentando a área ocupada, biomassa e fecundidade. Isso sugere que o aquecimento promovido pela mudança climática pode melhorar o desempenho dessa planta na natureza. Em outro experimento, Williams *et al.* (2007) verificaram que *Themeda triandra* Forssk., uma gramínea perene C₄, em competição com uma gramínea nativa C₃ e duas invasoras C₃, foi favorecida pelo aquecimento, porque isso afetou negativamente o crescimento populacional das plantas C₃ em detrimento da espécie C₄.

A investigação sobre a susceptibilidade e respostas das biotas às mudanças climáticas é essencial para o controle e minimização dos efeitos dessas mudanças sobre a biodiversidade (Aleixo *et al.*, 2010). Em cenários de mudanças climáticas, são esperados acréscimo na precipitação da região sudeste do Brasil no verão, e secas mais pronunciadas no inverno (Vonhof & Kaandorp, 2010; Vera *et al.*, 2006). A relação intrínseca entre clima/solo e o padrão de conservação dos fragmentos de Cerrado que encontramos, somados a cenários de projeção climáticas, sugerem que a composição de Poaceae está fortemente vulnerável a colapsos ecológicos e eventos de extinção, podendo ameaçar diretamente o equilíbrio de todos os biomas brasileiros. Pires *et al.* (2016) mostraram drástica redução da precipitação para a região do Matopiba (nos estados de Tocantins, Bahia, Maranhão e Piauí, na porção Norte do polígono do bioma) até 2050, segundo cenário do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). Isso comprometerá, diretamente, a futura produção agrícola da região que representa hoje a fronteira do agronegócio no Cerrado. Em outras palavras, são sítios naturais desmatados para usos que não se sustentarão a longo prazo, contabilizando perdas de biodiversidade irreparáveis (Pires *et al.*, 2016).

Segundo a WWF-Brasil (2015), apenas 11% do Cerrado se encontra dentro de Unidades de Conservação, o que não alcança as metas para conservação da Organização das Nações Unidas, mas representa grande parte dos refúgios de sítios naturais do bioma. No entanto, Carranza *et al.* (2014) alertam para a falta de estudos que atestem a efetividade desses sítios protegidos para a conservação da biodiversidade, uma vez que localização, extensão e conectividade dos sítios de proteção são fatores

importantes para tal. Ora, projeções em cenários de mudanças climáticas envolvendo populações de aves e plantas do Cerrado (Marini *et al.*, 2009; Siqueira & Peterson, 2003) indicam deslocamentos espaciais na ocorrência natural desses organismos. Nesse cenário, os sítios protegidos perderiam diversidade e as espécies, que migrariam para regiões do bioma Cerrado do Sul e do Sudeste, perderiam hábitat, já que nessas regiões encontram-se as áreas com maior degradação da cobertura natural do Cerrado, segundo Scarano *et al.* (2014). O cenário para qual os autores supramencionados alertam foi encontrado também em nossas análises como pode ser visto na PCA de Distúrbio (Figura 7), que é bem ilustrada no mapa de interpolação da PCA Dist 2 (Figura 8F), onde os sítios de maior extensão se concentram ao Norte do polígono do bioma e os mais perturbados ao Sul.

A condição edáfica trouxe pontos relevantes na separação dos sítios. Os campos rupestres, por exemplo, ocorrem sobre solos de textura grossa e rasa, com alto teor de A^{13+} e baixa disponibilidade de nutrientes (Benites *et al.*, 2007), o que explica o posicionamento de PE Serra da Rola-Moça e Serra da Calçada, PE da Serra de Ouro Branco, PE de Grão Mogol, PE do Itacolomi, PARNA da Serra da Canastra, PARNA da Serra do Cipó e Catolés na PCA Solo (Figura 6) em condições de baixa TEB e de maior porcentagem de areia. Outra relação interessante é o fato dos sítios com solos de baixa fertilidade estarem próximos a valores de maior conservação da matriz de entorno na PCA Distúrbio. Tal relação representa um ponto positivo para a preservação da biodiversidade desses sítios visto que, devido à baixa produtividade proporcionada, solos com baixa fertilidade permitem coexistência vegetal diversificada (Barbosa *et al.*, 2010). Ao investigarem a composição florística de áreas campestres na Califórnia, Harrison (1999) e Armstrong & Huenneke (1992) relataram o aumento da abundância de gramíneas exóticas em locais onde houve acréscimo nas razões dos cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} , enquanto as espécies nativas eram sistematicamente reduzidas. No mesmo sentido, Barbosa *et al.* (2010), analisando efeitos dos distúrbios causados por estradas que cortam campos rupestres do PARNA da Serra do Cipó, concluem que o alto *input* cálcio e demais nutrientes reduziu a disponibilidade química do alumínio e da toxicidade a ele atribuída e acentua a capacidade de troca de outros cátions com as plantas (CEC), resultando em locais onde espécies exóticas podem se tornar também invasoras.

A presença acentuada de Ca^{2+} pode também ser atribuída à agricultura no processo de calagem. A prática disseminada desse método em todo o Cerrado representa, portanto, um sério risco à recuperação e mesmo à conservação dos ecossistemas. (Barbosa, 2014). As dificuldades na restauração de campos são amplamente documentadas na literatura (Yuan *et al.*, 2006; Wong, 2003; Jim, 2001; Ash *et al.*, 1994;) e estão frequentemente ligadas a esse e outros fatores, como degradações físicas do solo, tal como arenização e erosão. Nesse último caso, se acometido a tal processo, o solo pode

apresentar decréscimo na fertilidade e na capacidade de acumulação de carbono, além de acréscimo na amplitude térmica (Milton *et al.*, 1994; Lal, 1990).

Segundo Driscoll *et al.* (2013), a matriz de entorno pode influenciar populações em sistemas fragmentados através de efeitos associados a movimento e dispersão, disponibilidade de recursos e variáveis abióticas. Quanto mais a matriz se assemelhar ao fragmento, mais efetiva se torna a movimentação de polinizadores e dispersores (Eycott *et al.*, 2010). Em revisão de 104 estudos que compararam efeitos de diferentes tipos de matrizes em indivíduos, populações e comunidades, majoritariamente de animais, Prevedello & Vieira (2010) concluíram que o tamanho e o isolamento do fragmento são os principais determinantes dos parâmetros ecológicos da paisagem, aliados ao nível de similaridade estrutural entre a matriz de entorno e o fragmento. Por outro lado, campos naturais são relativamente insensíveis aos efeitos de fragmentação, sendo mais influenciados pela matriz de entorno no que tange a mudanças no regime de incêndios e aumento da perturbação. É o que sugere a pesquisa de Williams *et al.* (2006) ao investigarem a persistência de espécies nativas em 30 fragmentos de campos naturais na Austrália, entre 1980 e 2001. De maneira geral, o estado de conservação da matriz de entorno e a forma/isolamento dos fragmentos influenciam diretamente na manutenção dos processos ecossistêmicos.

A discrepância entre o *status quo* da conservação das diferentes regiões do Cerrado encontra reflexo no esforço de pesquisa encontrado na literatura disponível. Como demonstrado na Figura 4D, os maiores números amostrais por sítio se dão na região de Goiás e Distrito Federal. São várias as publicações com levantamentos robustos da composição de Poaceae nessa região, ao passo que regiões dos estados de São Paulo e Paraná possuem, proporcionalmente, menor número de levantamentos disponíveis. Portanto, deixa subestimada a biodiversidade altamente ameaçada dessas regiões, em contrassenso à sua vulnerabilidade e relevância macro ecológica dentro daquela visão de Scarano *et al.* (2014).

CONCLUSÕES

Além da menção de dois grandes padrões de similaridade na composição de Poaceae, sendo (1) a área *core* do cerrado e (2) a Cadeia do Espinhaço e demais serras mineiras, assinalamos pelo menos dois indicativos para padrões da florística do Sul e Oeste do Cerrado. Indicamos com isso que a área Norte do Cerrado pode também possuir uma florística de Poaceae distinta das demais. Em um universo em que as publicações abordam majoritariamente o estrato arbóreo nas análises de similaridade no Cerrado, os resultados aqui alcançados indicam que é interessante a investigação da distribuição do estrato herbáceo, que apresenta comportamento diferente e possui grande peso ecológico no referido bioma.

Os parâmetros de diversidade taxonômica e funcional, que constroem ecossistemas saudáveis e dinâmicos, estão intimamente ligados a condições climáticas e edáficas características e, então, a vulnerabilidade dessa biodiversidade frente às alterações do clima e do manejo dos solos do Cerrado pela ação humana se torna iminente.

Corroboramos a ideia da efetividade de proteção das Unidades de Conservação sobre a biodiversidade. Embora a grande maioria dos sítios abordados se encontrem em Unidades de Conservação é fundamental planejarmos políticas amplas voltadas aos efeitos das mudanças climáticas, da arenização dos solos, do isolamento e fragmentação dos sítios naturais e do avanço da fronteira agrícola sobre o bioma Cerrado, especialmente do Maranhão e do Piauí, que carecem de estudos aprofundados sobre florística.

BIBLIOGRAFIA

- Ab'Saber, A. N. (2003). *Os Domínios de Natureza no Brasil: Potencialidades Paisagísticas*. São Paulo, Ateliê Editorial.
- Aleixo, A., Albernaz, A. L., Grelle, C. E. V., Vale, M. M., & Rangel, T. F. (2010). Mudanças climáticas e a biodiversidade dos biomas brasileiros: Passado, Presente e Futuro. *Brazilian Journal of Nature Conservation*, 8(2), 194-196. <https://doi.org/10.4322/natcon.00802016>
- Alexandre, B. D. R., Lorini, M. L., & Grelle, C. D. V. (2013). Modelagem preditiva de distribuição de espécies ameaçadas de extinção: um panorama das pesquisas. *Oecologia Australis*, 17(4), 483-508. <https://doi.org/10.4257/oeco.2013.1704.04>
- Allem, A. C., & Valls, J. F. M. (1987). *Recursos forrageiros nativos do Pantanal Mato-grossense*. Departamento de Difusão de Tecnologia.
- Amaral, A. G., Munhoz, C. B., Walter, B. M., Aguirre-Gutiérrez, J., & Raes, N. (2017). Richness pattern and phytogeography of the Cerrado herb-shrub flora and implications for conservation. *Journal of Vegetation Science*, 28(4), 848-858. <https://doi.org/10.1111/jvs.12541>
- Antar, G. M. (2015). *Florística e efeitos do regime de fogo no estrato herbáceo subarbustivo no Jalapão, Tocantins, Brasil*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo.
- Armstrong, J. K., & Huenneke, L. F. (1992). Spatial and temporal variation in species composition in California grasslands: the interaction of drought and substratum. In the Vegetation of Ultramafic (Serpentine) Soils. *First International Conference on Serpentine Ecology*. Intercept Ltd., Andover, UK. 213-233.
- Ash, H. J., Gemmell, R. P., & Bradshaw, A. D. (1994). The introduction of native plant species on industrial waste heaps: A test of immigration and other factors affecting primary succession. *Journal of Applied Ecology*, 31(1), 74-84. <https://doi.org/10.2307/2404600>
- Barbosa, A. S. (2014). O Cerrado está extinto e isso leva ao fim dos rios e dos reservatórios de água. *Entrevista. Opção, Goiânia*, 2048(4), 1-3.
- Barbosa, N. P. U., Wilson Fernandes, G., Carneiro, M. A. A., & Júnior, L. A. C. (2010). Distribution of non-native invasive species and soil properties in proximity to paved roads and unpaved roads in a quartzitic mountainous grassland of southeastern Brazil (rupestrian fields). *Biological Invasions*, 12(11), 3745-3755. <https://doi.org/10.1007/s10530-010-9767-y>
- Batalha, M. A. P. L. (2001). *Florística, espectro biológico e padrões fenológicos do cerrado sensu lato no Parque Nacional das Emas (GO) e o componente herbáceo-subarbustivo da flora do cerrado sensu lato*. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas.
- Batmanian, G. J., & Haridasan, M. (1985). Primary production and accumulation of nutrients by the ground layer community of Cerrado vegetation of central Brazil. *Plant and Soil*, 88(3), 437-440. <https://doi.org/10.1007/BF02197500>
- Benites, V. M., Schaefer, C. E. G. R., Simas, F. N. B., & Santos, H. G. (2007). Soils associated with rock outcrops in the Brazilian mountain ranges Mantiqueira and Espinhaço. *Revista Brasileira de Botânica*, 30, 569-577. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042007000400003>
- BFG (The Brazil Flora Group). (2015). Growing knowledge: An overview of seed plant diversity in Brazil. *Rodriguésia*, 66(4), 1085-1113. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201566411>

- Borges, R. A. X., Saavedra, M. M., Nakajima, J. N., & Forzza, R. C. (2010). The Asteraceae flora of the Serra do Ibitipoca: Analyses of its diversity and distribution compared with selected areas in Brazilian mountain ranges. *Systematics and Biodiversity*, 8(4), 471-479. <https://doi.org/10.1080/14772000.2010.517573>
- Brasil. (2003). *PARNA Grande Sertão Veredas*: Plano de Manejo. Brasília, 369-372.
- Brasil. (2006). *APA de Cafuringa*: a última fronteira natural do Distrito Federal. Netto, P. B., Mecnas, V. V., & Cardoso, E. S. (Eds.). Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Brasília, 241-248.
- Buisson, E., Le Stradic, S., Silveira, F. A. O., Durigan, G., Overbeck, G. E., Fidelis, A., ... Veldman, J. W. (2019). Resilience and restoration of tropical and subtropical grasslands, savannas, and grassy woodlands. *Biological Reviews*, 94(2), 590–609. <https://doi.org/10.1111/brv.12470>
- Burkart, A. (1975). Evolution of grasses and grasslands in South America. *Taxon*, 24(1), 53-66. <https://doi.org/10.2307/1219001>
- Canché-Estrada, I. A., Ortiz-Díaz, J. J., & Tun-Garrido, J. (2018). Floristic affinities of the lowland savannahs of Belize and Southern Mexico. *PhytoKeys*, 96, 47-56. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.96.20097>
- Carranza, T., Manica, A., Kapos, V., & Balmford, A. (2014). Mismatches between conservation outcomes and management evaluation in protected areas: A case study in the Brazilian Cerrado. *Biological Conservation*, 173, 10-16. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.03.004>
- Castro, A. A. J. F. (1994). Comparação florística de espécies do cerrado. *Silvicultura*, 15(58), 16-18.
- Cerling, T. E., Harris, J. M., MacFadden, B. J., Leakey, M. G., Quade, J., Eisenmann, V., & Ehleringer, J. R. (1997). Global vegetation change through the Miocene/Pliocene boundary. *Nature*, 389(6647), 153-158. <https://doi.org/10.1038/38229>
- Chuine, I., Morin, X., Sonié, L., Collin, C., Fabreguettes, J., Degueldre, D., Salager, J. L., & Roy, J. (2012). Climate change might increase the invasion potential of the alien C4 grass *Setaria parviflora* (Poaceae) in the Mediterranean Basin. *Diversity and Distributions*, 18(7), 661-672. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2011.00880.x>
- Clarke, K. R., & Warwick, R. M. (2001). A further biodiversity index applicable to species lists: Variation in taxonomic distinctness. *Marine Ecology Progress Series*, 216, 265-278. <https://doi.org/10.3354/meps216265>
- Colli, G. R. (2005). As origens e a diversificação da herpetofauna do Cerrado. In: Scariot, A., Sousa-Silva, J. C., Felfili, J. M. (Eds.), *Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, Distrito Federal, pp. 249-264.
- da Silva, L. N., Essi, L., Welker, C. A. D., & de Souza-Chies, T. T. (2016). Assessing the genetic diversity and population structure of the endangered *Chascolytrum bulbosum* (Poaceae, Poaceae) using AFLP markers. *Biochemical Systematics and Ecology*, 68, 236-242. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2016.07.027>
- da Silva, R. R., & Filgueiras, T. S. (2003). Gramíneas (Poaceae) da área de relevante interesse ecológico (ARIE) "Santuário de vida Silvestre do Riacho Fundo", Distrito Federal, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 17(3), 467-486. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062003000300012>
- Dantas, V. L., Batalha, M. A., & Pausas, J. G. (2013). Fire drives functional thresholds on the savanna-forest transition. *Ecology*, 94(11), 2454-2463. <https://doi.org/10.1890/12-1629.1>

- de Castro, E. A., & Kauffman, J. B. (1998). Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: A vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire. *Journal of Tropical Ecology*, 14(3), 263-283. <https://doi.org/10.1017/S0266467498000212>
- de Oliveira, P. E., Barreto, A. M. F., & Suguio, K. (1999). Late Pleistocene/Holocene climatic and vegetational history of the Brazilian caatinga: The fossil dunes of the middle São Francisco River. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 152(3-4), 319-337. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(99\)00061-9](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(99)00061-9)
- Dias-Melo, R., Ferreira, F. M., & Forzza, R. C. (2009). Panicoideae (Poaceae) no Parque Estadual de Ibitipoca, Minas Gerais-Brasil. *Boletim de Botânica*, 27(2), 153-187. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9052.v27i2p153-187>
- Downton, W. J. S. (1971). *Adaptive and evolutionary aspects of C₄ photosynthesis and photorespiration*. Eds. Hatch M. D., Osmond, C. B., Slatyer, R. O. 3-17. Nova York. Wiley Interscience.
- Driscoll, D. A., Banks, S. C., Barton, P. S., Lindenmayer, D. B., & Smith, A. L. (2013). Conceptual domain of the matrix in fragmented landscapes. *Trends in Ecology & Evolution*, 28(10), 605-613. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2013.06.010>
- Dukes, J.S. & Mooney, H.A. (1999). Does global change increases the success of biological invaders? *Trends in Ecology and Evolution*, 14, 135-139. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(98\)01554-7](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(98)01554-7)
- Durigan, G., & Ratter, J. A. (2016). The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation. *Journal of Applied Ecology*, 53(1), 11-15. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12559>
- Eiten, G. (1963). *Habitat Flora of Fazenda Campininha*. São Paulo, EDUSP.
- Eycott, A., Watts, K., Brandt, G., Buyung-Ali, L., Bowler, D., Stewart, G., & Pullin, A. (2010). Do landscape matrix features affect species movement? *CEE Review*, 8.
- Ferreira, F. M., & Forzza, R. C. (2009). Floristics and characterization of the vegetation at Toca dos Urubus, Baependi, Minas Gerais State, Brazil. *Biota Neotropica*, 9(4), 131-148. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032009000400014>
- Ferri, M. G. (1980). *Vegetação Brasileira*. São Paulo, EDUSP.
- Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). Worldclim 2: New 1-km spatial resolution climate. Disponível em: <https://worldclim.org/version2>. Acesso em: 20 de jan. 2019. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Fidelis, A., Lyra, M., & Pivello, V. (2013). Above-and below-ground biomass and carbon dynamics in Brazilian Cerrado wet grasslands. *Journal of Vegetation Science*, 24, 356-364. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2012.01465.x>
- Flora do Brasil. (2020) (em construção). Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br>. Acesso em: 20 de jan. 2019.
- Forzza, R. C., Neto M. L., Salimena, F. R. G., & Zappi, D. (2013). Fanerógamas do Parque Estadual do Ibitipoca e suas relações florísticas com outras áreas com campo rupestre de Minas Gerais. *Flora do Parque Estadual de Ibitipoca e seu entorno*. Editora UFJF, Juiz de Fora, p. 153-292.
- Françoso, R. D., Dexter, K. G., Machado, R. B., Pennington, R. T., Pinto, J. R., Brandão, R. A., & Ratter, J. A. (2019). Delimiting floristic biogeographic districts in the Cerrado and assessing their conservation status. *Biodiversity and Conservation*, 1-24. <https://doi.org/10.1007/s10531-019-01819-3>

- Gallardo, B., Gascón, S., Quintana, X., & Comín, F. A. (2011). How to choose a biodiversity indicator—Redundancy and complementarity of biodiversity metrics in a freshwater ecosystem. *Ecological indicators*, 11(5), 1177-1184. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.12.019>
- Garcia, R. J. F., Longhi-Wagner, H. M., Pirani, J. R., & Meirelles, S. T. (2009). A contribution to the phytogeography of Brazilian campos: An analysis based on Poaceae. *Brazilian Journal of Botany*, 32(4), 703-713. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042009000400009>
- Giulietti, A. M., De Menezes, N. L., Pirani, J. R., Meguro, M., & Wanderley, M. D. G. L. (1987). Flora da Serra do Cipó, Minas Gerais: Caracterização e lista das espécies. *Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo*, 9, 1-151. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9052.v9i0p1-151>
- Gouvêa, A. P. D. M. L. (2018). *Gramíneas das formações savânicas e campestres do Parque Ecológico Bernardo Sayão—Brasília*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília.
- Gwali, S., Okullo, P., Hafashimana, D., & Byabashaija, D. M. (2010). Taxonomic diversity, distinctness, and abundance of tree and shrub species in Kasagala forest reserve in Uganda: Implications for management and conservation policy decisions. *Tropical Conservation Science*, 3(3), 319-333. <https://doi.org/10.1177/194008291000300306>
- Harrison, S. (1999). Native and alien species diversity at the local and regional scales in a grazed California grassland. *Oecologia*, 121(1), 99-106. <https://doi.org/10.1007/s004420050910>
- Hoffmann, W. A., Geiger, E. L., Gotsch, S. G., Rossatto, D. R., Silva, L. C., Lau, O. L., & Franco, A. C. (2012). Ecological thresholds at the savanna-forest boundary: how plant traits, resources and fire govern the distribution of tropical biomes. *Ecology Letters*, 15(7), 759-768. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2012.01789.x>
- Hueck, K. (1972). As regiões de matas do Chaco e áreas marginais. In the *As florestas da América do Sul: Ecologia, Composição e Importância Econômica*. Editora Polígono, Brasília, 240-275.
- IBGE. 2018. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Brasília. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia>>. Acesso em: 11 jun. 2019.
- Jim, C. Y. (2001). Ecological and landscape rehabilitation of a quarry site in Hong Kong. *Restoration Ecology*, 9(1), 85-94. <https://doi.org/10.1046/j.1526-100x.2001.009001085.x>
- Kanno, T., Macedo, M. C., Euclides, V. P., Bono, J. A., Santos, J. D. J., Rocha, M. C., & Berett, A. G. R. (1999). Root biomass of five tropical grass pastures under continuous grazing in Brazilian savannas. *Japanese Journal of Grassland Science*, 45(1), 9-14.
- Klink, C. A., & Machado, R. B. (2005). A conservação do Cerrado brasileiro. *Megadiversidade*, 1(1), 147-155.
- Kolbek, J. I. R. I., & Alves, R. J. V. (2008). Impacts of cattle, fire and wind in Rocky Savannas, Southeastern Brazil. *Acta Universitatis Carolinae Environmentalica*, 22, 111-130.
- Lal, R. (1990). Soil conservation and biodiversity. In: D. L. Hawksworth (ed.), *The Biodiversity of microorganisms and invertebrates: its role in sustainable Agriculture*. Arizona, University of Arizona Press.
- Le Roux, X., Schmid, B., Poly, F., Barnard, R. L., Niklaus, P. A., Guillaumaud, N., Habekost, M., Oelmann, Y., Philippot, L., Salles J. F., Steinbeiss, S., Weigelt, A., & Schlöter, M. (2013). Soil environmental conditions and microbial build-up mediate the effect of plant diversity on soil nitrifying and denitrifying enzyme activities in temperate grasslands. *PLoS One*, 8(4), e61069. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0061069>
- Legendre, P., & Legendre, L. F. (2012). *Numerical ecology*. Oxford, Elsevier.
- Lepsch, I. F. (2016). *Formação e Conservação dos Solos*. São Paulo, Oficina de textos.

- Longhi-Wagner, H. M., & Todeschini, B. H. (2004). Flora de Grão-Mogol, Minas Gerais: Gramineae (Poaceae). *Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo*, 22(2), 143-165. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9052.v22i2p143-165>
- Longhi-Wagner, H. M., & Welker, C. A. D. (2012). Diversity, chorology and conservation of the grasses (Poaceae) in Serra do Ouro Branco, State of Minas Gerais, Brazil. *Phytotaxa*, 65(1), 7-22. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.65.1.2>
- Longhi-Wagner, H. M., & Zanin, A. (1998). Padrões de distribuição geográfica das espécies de *Stipa* L. (Poaceae-Stipeae) ocorrentes no Brasil. *Brazilian Journal of Botany*, 21(2), 167-175. <https://doi.org/10.1590/S0100-84041998000200009>
- Longhi-Wagner, H. M., Welker, C. A. D., & Waechter, J. L. (2012). Floristic affinities in montane grasslands in Eastern Brazil. *Systematics and Biodiversity*, 10(4), 537-550. <https://doi.org/10.1080/14772000.2012.753487>
- Lopes, A. S., & Cox, F. R. (1977). Cerrado Vegetation in Brazil: An Edaphic Gradient 1. *Agronomy Journal*, 69(5), 828-831. <https://doi.org/10.2134/agronj1977.00021962006900050025x>
- Machado, R. B., Aguiar, L. D. S., Castro, A. A. J. F., Nogueira, C. D. C., & Ramos-Neto, M. B. (2008). *Caracterização da fauna e flora do Cerrado*. Palestras do XI Simpósio Nacional sobre o Cerrado e II Simpósio Internacional sobre Savanas Tropicais, 12-17.
- Mantovanil, W., & Martins, F. R. (1993). Florística do Cerrado na Reserva Biológica de Moji Guaçu, SP. *Acta Botanica Brasilica*, 7(1), 33-60. <https://doi.org/10.1590/S0102-33061993000100003>
- Marimon, B. S., Marimon-Junior, B. H., Mews, H. A., Jancoski, H. S., Franczak, D. D., Lima, H. S., & Moresco, M. C. (2012). Florística dos campos de murundus do pantanal do Araguaia, Mato Grosso, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 26(1), 181-196. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062012000100018>
- Marini, M. A., Barbet-Massin, M., Lopes, L. E., & Jiguet, F. (2009). Predicted climate driven bird distribution changes and forecasted conservation conflicts in a Neotropical Savanna. *Conservation Biology*, 23(6), 1558-1567. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01258.x>
- Meira-Neto, J. A. A., & Martins, F. R. (2002). Composição florística de uma floresta estacional semidecidual-montana no município de Viçosa-MG. *Revista Árvore*, 26, 437-446. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622002000400006>
- Messias, M. C. T. B., Sousa, H. C. D., Scaloni, V. R., Roschel, M. B., Cândido, E. S., & Fujaco, M. A. G. (2017). Phanerogamic flora and vegetation of Itacolomi State Park, Minas Gerais, Brazil. *Biota Neotropica*, 17(1). <https://doi.org/10.1590/1676-0611-bn-2016-0236>
- Meyer, A. D. S. (2002). *Comparação de coeficientes de similaridade usados em análises de agrupamento com dados de marcadores moleculares dominantes*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo.
- Milton, S. J., du Plessis, M. A., & Siegfried, W. R. (1994). A conceptual model of arid rangeland degradation. *Bioscience*, 44(2), 70-76. <https://doi.org/10.2307/1312204>
- Moro, R. S., & Carmo, M. R. B. D. (2007). A vegetação campestre nos Campos Gerais. Ponta Grossa, Editora UEPG. Ponta Grossa.
- Moss, R. H., Edmonds, J. A., Hibbard, K. A., Manning, M. R., Rose, S. K., Van Vuuren, D. P., Carter, T. R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G. A., Mitchell, J. F., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S. J., Stouffer, R. J., Thomson, A. M., Weyant, J. P., & Wilbanks, T. J. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463(7282), 747. <https://doi.org/10.1038/nature08823>

- Munhoz, C. B. R., & Proença, C. E. B. (1998). Composição florística do município de Alto Paraíso de Goiás na Chapada dos Veadeiros. *Boletim Herbário Ezechias Paulo Heringer*, 3, 102-150.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Fonseca, G. A. B., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853-858. <https://doi.org/10.1038/35002501>
- Nachtergaele, F., van Velthuisen, H., Verelst, L., Batjes, N. H., Dijkshoorn, K., van Engelen, V. W. P., Fischer, G., Jones, A., & Montanarella, L. (2010). The harmonized world soil database. In Proceedings of the 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, Brisbane, Australia, 1-6 August 2010 (34-37).
- Negrão, D. S. G. (2016). *Seleção de variáveis ambientais na modelagem de distribuição geográfica de espécies*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal da Integração Latino-Americana.
- Neri, A. V., Neto, M., Alves, J. A., Silva, A. F. D., Martins, S. V., & Saporetti Junior, A. W. (2007). Composição florística de um sítio de Cerrado sensu stricto no município de Senador Modestino Gonçalves, Vale do Jequitinhonha (MG) e análise de similaridade florística de alguns sítios de Cerrado em Minas Gerais. *Revista Árvore*, 31(6), 1109-1119. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622007000600016>
- Oksanen, J., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P. R., O'hara, R. B., Simpson, G. L., Solymos P., Stevens M. H. H., Szoecs, E., Wagner, H., & Oksanen, M. J. (2013). Package 'vegan'. *Community ecology package, version*, 2(9), 1-295.
- Oliveira, G. C. D. (2005). *Perfil florístico e distribuição das espécies vegetais, em relação ao gradiente de umidade do solo, em seis veredas no Triângulo Mineiro*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia.
- Osborne, C. P., Salomaa, A., Kluyver, T. A., Visser, V., Kellogg, E. A., Morrone, O., & Simpson, D. A. (2014). A global database of C₄ photosynthesis in grasses. *New Phytologist*, 204(3), 441-446. <https://doi.org/10.1111/nph.12942>
- Pamplona, M. B. (2019). Mudanças climáticas no Cerrado brasileiro e seus efeitos nos eventos de incêndio nas Unidades de Conservação da região. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Patterson, D. T. (1995). Weeds in a changing climate. *Weed Science*, 43(4), 685-700. <https://doi.org/10.1017/S0043174500081832>
- Pinheiro, M. H. (2010). Formações savânicas mundiais: uma breve descrição fitogeográfica. *Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium*, 1(2), 306-313.
- Pires, G. F., Abrahão, G. M., Brumatti, L. M., Oliveira, L. J., Costa, M. H., Liddicoat, S., & Ladle, R. J. (2016). Increased climate risk in brazilian double cropping agriculture systems: Implications for land use in Northern Brazil. *Agricultural and Forest Meteorology*, 228, 286-298. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.07.005>
- Poorter, L., Van der Sande, M. T., Arets, E. J., Ascarrunz, N., Enquist, B. J., Finegan, B., ... & Muñoz, R. (2017). Biodiversity and climate determine the functioning of Neotropical forests. *Global Ecology and Biogeography*, 26(12), 1423-1434. <https://doi.org/10.1111/geb.12668>
- Porzecanski, A. L., & Cracraft, J. (2005). Cladistic analysis of distributions and endemism (CADE): Using raw distributions of birds to unravel the biogeography of the South American arid lands. *Journal of Biogeography*, 32, 261-275. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2004.01138.x>

- Pott, A., Pott, V. J., Sciamarelli, A., Sartori, A. L. B., Resende, U. M., Scremin-Dias, E., Jacques, E. L., Aragaki, S., Nakajima, J. N., Romero, R., Cristaldo, A. C. M., & Damasceno Júnior, G. A. (2006). Inventário das angiospermas no Complexo Aporé-Sucuriú. Pp. 45-66 In: Pagotto, T. C. S., & Souza, P. R. (Eds.). *Biodiversidade do Complexo Aporé-Sucuriú: subsídios à conservação e ao manejo do Cerrado: Área Prioritária 316-Jauru*. Campo Grande.
- Prado, D. E. (1993). What is the Gran Chaco vegetation in South America? II: A redefinition. Contribution to the study of the flora and vegetation of the Chaco. VII. *Candollea*, 48(2), 615-629.
- Prevedello, J. A., & Vieira, M. V. (2010). Does the type of matrix matter? A quantitative review of the evidence. *Biodiversity and Conservation*, 19(5), 1205-1223. <https://doi.org/10.1007/s10531-009-9750-z>
- Projeto MapBiomas. (2018). Coleção 2. 3 da *Série anual de mapas de cobertura e uso de solo do Brasil*. Disponível em: <http://mapbiomas.org/stats/>. Acesso em: 7 de jun. 2018.
- Pyke, C. R., Condit, R., Aguilar, S., & Lao, S. (2001). Floristic composition across a climatic gradient in a neotropical lowland forest. *Journal of Vegetation Science*, 12(4), 553-566. <https://doi.org/10.2307/3237007>
- R Core Team. (2019). *R: A Language and environment for statistical computing*. r foundation for statistical computing. Version 1. 2. 1335. Austria. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.
- Ramos-Neto, M. B., & Pivello, V. R. (2000). Lightning fires in a Brazilian Savanna National Park: Rethinking management strategies. *Environmental Management*, 26(6), 675-684. <https://doi.org/10.1007/s002670010124>
- Ratter, J. A., Bridgewater, S., & Ribeiro, J. F. (2003). Analysis of the floristic composition of the Brazilian Cerrado vegetation III: Comparison of the woody vegetation of 376 areas. *Edinburgh Journal of Botany*, 60, 57-109. <https://doi.org/10.1017/S0960428603000064>
- Reis, G. H., Mansanares, M. E., Domingos, D. Q., Meireles, L. D., & van den Berg, E. (2015). Asteraceae dos campos rupestres das Serras da Bocaina e de Carrancas, Minas Gerais, Brasil. *Rodriguésia*, 66(3), 829-845. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201566311>
- Reis, P. A. D. (2013). *Poaceae das formações florestais e do cerrado sentido restrito do Parque Nacional de Brasília-DF, Brasil*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília.
- Ribeiro, J. F., Felfili, J. M., Walter, B. M. T., de Mendonça, R. C., Filgueiras, T. S., & da Silva, M. R. (2001). *Caracterização florística e potencial de uso das espécies vasculares ocorrentes nas fazendas Trijunção, Bahia*. Planaltina. Embrapa Cerrados-Documents.
- Ribeiro, K. T., & Freitas, L. (2010). Impactos potenciais das alterações no Código Florestal sobre a vegetação de campos rupestres e campos de altitude. *Biota Neotropica*, 10(4), 239-246. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032010000400029>
- Richards, P. W. (1952). *The tropical rain forest: an ecological study*. London: Cambridge: Rissi, M. N., Baeza, M. J., Gorgone-Barbosa, E., Zupo, T., Fidelis, A., Mariana Ninno Rissi, ... Alessandra Fidelis. (2017). Does season affect fire behaviour in the Cerrado? *International Journal of Wildland Fire*, 26(5), 427-433. <https://doi.org/10.1071/WF14210>
- Rodrigues, R. S., & Filgueiras, T. S. (2014). The tribe Paniceae (Poaceae: Panicoideae) in the Reserva Biológica de Mogi-Guaçu, São Paulo State, Brazil. *Hoehnea*, 41(4), 589-622. <https://doi.org/10.1590/2236-8906-58/2013>

- Sage, R. F., & Kubien, D. S. (2003). Quo vadis C4? An ecophysiological perspective on global change and the future of C₄ plants. *Photosynthesis research*, 77(2-3), 209-225. <https://doi.org/10.1023/A:1025882003661>
- Santana, O. A., de Carvalho Júnior, O. A., Gomes, R. A. T., Júnior, A. F. C., de Souza, V. V., de Oliveira, S. N., & Martins, E. S. (2011). Inventário das espécies vegetais na Serra da Canastra, Parque Nacional da Serra da Canastra, Minas Gerais, Brasil. *Revista Espaço e Geografia*, 14(1), 127-146.
- Santos, R. M. D., Vieira, F. D. A., Fagundes, M., Nunes, Y. R. F., & Gusmão, E. (2007). Riqueza e similaridade florística de oito remanescentes florestais no Norte de Minas Gerais, Brasil. *Revista Árvore*, 31(1), 135-144. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622007000100015>
- Sartori, A. L. B., Pott, V. J., Pott, A., & de Carvalho, F. S. (2018). Checklist das Angiospermas do chaco de Mato Grosso do Sul. *Iheringia, Série Botânica*, 73(1), 22-33. <https://doi.org/10.21826/2446-8231201873s22>
- Sartori, A.L.B. (2012). The Brazilian Chaco. *Glalia* 4,11-18.
- Sasaski, D., & Mello-Silva, R. D. (2008). Levantamento florístico no Cerrado de Pedregulho, SP, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 22(1), 187-202. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062008000100019>
- Scarano, F. R., Ceotto, P., Medeiros, R., & Mittermeier, R. A. (2014). O bioma Cerrado: conservação e ameaças. Pp. 21-24 In: Martinelli G., Messina T., & Filho L. S. (Eds.). *Livro Vermelho da Flora do Brasil – Plantas Raras do Cerrado*. Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. Centro Nacional de Conservação da Flora.
- Silva, F. B., Santos, J. R. N., Feitosa, F. E. C. S., Silva, I. D. C., Araújo, M. L. S. D., Guterres, C. E., Santos, J. S., Ribeiro, C. V., Bezerra, D. S., & Neres, R. L. (2016). Evidências de mudanças climáticas na região de transição Amazônia-Cerrado no estado do Maranhão. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 31(3), 330-336. <https://doi.org/10.1590/0102-778631320150149>
- Silva-Moraes, H. G., Cordeiro, I., & Figueiredo, N. (2019). Flora and floristic affinities of the cerrados of Maranhão State, Brazil. *Edinburgh Journal of Botany*, 76(1), 1-21. <https://doi.org/10.1017/S0960428618000215>
- Siqueira, M. F. D., & Peterson, A. T. (2003). Consequences of global climate change for geographic distributions of cerrado tree species. *Biota Neotropica*, 3(2), 1-14. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032003000200005>
- Solbrig, O. T. (1996). The diversity of the savanna ecosystem. In *Biodiversity and savanna ecosystem processes*, 1-27. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-78969-4_1
- Soreng, R. J., Peterson, P. M., Romaschenko, K., Davidse, G., Teisher, J. K., Clark, L. G., & Zuloaga, F. O. (2017). A worldwide phylogenetic classification of the Poaceae (Gramineae) II: An update and a comparison of two 2015 classifications. *Journal of Systematics and Evolution*, 55(4), 259-290. <https://doi.org/10.1111/jse.12262>
- Souza, V., & Lorenzi, H. (2008). *Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG II*. Instituto Plantarum. Nova Odessa.
- Tannus, J. L., & Assis, M. A. (2004). Composição de espécies vasculares de campo sujo e campo úmido em área de Cerrado, Itirapina-SP, Brasil. *Brazilian Journal of Botany*, 27(3), 489-506. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042004000300009>

- Toledo, M., Poorter, L., Peña-Claros, M., Alarcón, A., Balcázar, J., Leño, C., Licona, J. C., Llanque, O., Vroomans, V., Zuidema, P., & Bongers, F. (2011). Climate is a stronger driver of tree and forest growth rates than soil and disturbance. *Journal of Ecology*, 99(1), 254-264. University Press, 1952. 450p. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2010.01741.x>
- Valeriano, M. M. (2005). Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. In: *XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 1-8.
- Veloso, H.P., Oliveira-Filho, L.D., Vaz, A.M.S.F., Lima, M.P.M., Marquete, R. & Brazao, J.E.M. (1992). Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Rio de Janeiro, IBGE.
- Vera, C., Silvestri, G., Liebmann, B., & González, P. (2006). Climate change scenarios for seasonal precipitation in South America from IPCC-AR4 models. *Geophysical Research Letters*, 33(13). <https://doi.org/10.1029/2006GL025759>
- Viana, P. L., & Lombardi, J. A. (2007). Florística e caracterização dos campos rupestres sobre canga na Serra da Calçada, Minas Gerais, Brasil. *Rodriguésia*, 58(1), 159-177. <https://doi.org/10.1590/2175-7860200758112>
- Viana, V. M., & Pinheiro, L. A. F. V. (1998). Conservação da biodiversidade em fragmentos florestais. *Série Técnica IPEF*, 12(32), 25-42.
- von Linsingen, L., Sonehara, J. S., Uhlmann, A., & Cervi, A. (2006). Composição florística do Parque Estadual do Cerrado de Jaguariaíva, Paraná, Brasil. *Acta Biológica Paranaense*, 35, 197-232. <https://doi.org/10.5380/abpr.v35i0.6866>
- Vonhof, H. B. & Kaandorp, R. J. G. (2010). Climate variation in Amazonia during the Neogene and the Quaternary. In: Hoorn, C. & Wesselingh, F.P. (Eds.), *Amazonia: Landscape and Species Evolution: a look into the past*. Amsterdam. Blackwell Publishing. 199-210. <https://doi.org/10.1002/9781444306408.ch12>
- Walter, B. M. (2000). *Resgate de germoplasma e levantamento florístico no aproveitamento hidrelétrico Serra da Mesa: relatório final*. Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia.
- Warming, E., & Ferri, M. G. (1973). Lagoa Santa e a vegetação de cerrados brasileiros. In the *Lagoa Santa e a Vegetação de Cerrados Brasileiros*. Edusp. São Paulo.
- Warwick, R. M., & Clarke, K. R. (1995). New 'biodiversity' measures reveal a decrease in taxonomic distinctness with increasing stress. *Marine Ecology Progress Series*, 129, 301-305. <https://doi.org/10.3354/meps129301>
- Williams, A. L., Wills, K. E., Janes, J. K., Vander Schoor, J. K., Newton, P. C., & Hovenden, M. J. (2007). Warming and free-air CO₂ enrichment alter demographics in four co-occurring grassland species. *New Phytologist*, 176(2), 365-374. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.02170.x>
- Williams, N. S., Morgan, J. W., McCarthy, M. A., & McDonnell, M. J. (2006). Local extinction of grassland plants: The landscape matrix is more important than patch attributes. *Ecology*, 87(12), 3000-3006. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2006\)87\[3000:LEOGPT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2006)87[3000:LEOGPT]2.0.CO;2)
- Wong, M. H. (2003). Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils. *Chemosphere*, 50(6), 775-780. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(02\)00232-1](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00232-1)
- WWF-Brasil. (2015). Sítios prioritários para conservação da biodiversidade no Cerrado e Pantanal. Brasília.

- Yuan, J. G., Fang, W., Fan, L., Chen, Y., Wang, D. Q., & Yang, Z. Y. (2006). Soil formation and vegetation establishment on the cliff face of abandoned quarries in the early stages of natural colonization. *Restoration Ecology*, 14(3), 349-356. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2006.00143.x>
- Zanella, F. C., & Martins, C. F. (2003). *Abelhas da Caatinga: biogeografia, ecologia e conservação*. In: Leal, I. R., Tabarelli, M., Silva, J. M. C. (Eds.), *Ecologia e Conservação da Caatinga*. Editora Universitária da UFPE, Recife, pp. 75-134.
- Zappi, D. C., Lucas, E., Stannard, B. L., Lughadha, E. N., Pirani, J. R., Queiroz, L. D., & de Carvalho, A. M. (2003). Lista das plantas vasculares de Catolés, Chapada Diamantina, Bahia, Brasil. *Boletim de Botânica*, 21(2), 345-398. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9052.v21i2p345-398>

APÊNDICES

Apêndice 1: Relação taxonômica, padrão fotossintético e ocorrência dos táxons em cada sítio estudado. Sítios estão nomeados de acordo com a Tabela 1 e a Figura 1.

Subfamilia	Tribo	Subtribo	Gênero	Espécie		A R A G	C A F U C	C A L N	C A T O	C H A C	C I P O	E M A S	F U R	I B I T	I T A C	J A L A	L A G O	M E S A	M O G I	M O G O	O U R O	P E B S	P E C E	P N B	R I F U	R E R T	S E U C	S U O R C	T O R I	U B E A	D				
Aristidoideae	Aristideae	-	Aristida	adscensionis	C4					x						x						x													
				capillacea	C4	x	x						x						x					x								x		x	
				ekmaniana	C4											x								x								x			
				flaccida	C4				x																										
				gibbosa	C4									x																					
				glaziovii	C4																														
				jubata	C4																														
				longifolia	C3									x	x																				
				megapotamica	C4																					x	x	x							x
				oligospira	C4																														
				pallens	C4																														
				pendula	C4	x																													
				recurvata	C4		x	x	x	x				x				x	x																
				riparia	C4	x	x							x	x	x																			
				setifolia	C4									x																					
				tortu	C4	x			x								x	x																	
Bambusoideae	Bambuseae	Arthrostylidiinae	Aulonemia	effusa	C3					x																									
				Filgueirasia	C3									x																					
		Chusqueinae	Chusquea	arenicola	C3																														
				attenuata	C3																														
				nutans	C3																														
				pinifolia	C3																														
Cynodonteae	Cteninae	Ctenium	brachystachyum	C4																															
			brevispicatum	C4																															
			chapadense	C4																															
			cirrosium	C4																															
		Eleusininae	Chloris	elata	C4																														
				orthonaton	C4																														
				pyncothrix	C4																														
				scabra	C4																														
	Gouiniinae	Gouinia	brasiliensis	C4																															
			paraguayensis	C4																															
			doellii	C4																															
			fastigiatus	C4																															
	Hubbardochloinae	Gymnopogon	foliosus	C4																															
			spicatus	C4																															
			mucronulatum	C4																															
			pappiferum	C4																															
Pappophorinae		Pappophorum	articulata	C4																															
			bahiensis	C4																															
			gloeodes	C4																															
			guianensis	C4																															
Eragrostideae	Eragrostidinae	Eragrostis	hypnoides	C4																															
			leucosticta	C4																															
			lugens	C4																															
			maypurensis	C4																															
			neesii	C4																															
			perennis	C4																															
			petrensis	C4																															
			polyticha	C4																															
	Zoysieae	Sporobolinae	Sporobolus	purpurascens	C4																														
				rufescens	C4																														
				secundiflora	C4																														
				seminuda	C4																														
				solida	C4																														
				aeneus	C4																														
				ciliatus	C4																														
				cubensis	C4																														
Danthonioideae	Ornithoideae	Oryzinae	Danthonia	indicus	C4																														
				jacquemontii	C4																														
				metallicolus	C4																														
				monandrus	C4																														
				pseudairioides	C4																														
				pyramidatus	C4																														
				secundiflora	C3																														
				latifolia	C3																														
	Oryzoideae	Andropogoneae	Andropogoninae	Andropogon	angustatus	C4																													
					bicornis	C4																													
					carinatus	C4																													
					durifolius	C4																													
					fastigiatus	C4																													
					hypogynus	C4																													
					ingratus	C4																													
					lateralis	C4																													
Rottboelliinae	Mnesithea	Agenium	leptocladum	C4																															
			villosus	C4																															
			cayennensis	C4																															
			holoides	C4																															
			Saccharinae	Eriochrysis	laxa	C4																													
					laxa	C4																													
					laxa	C4																													
					laxa	C4																													

Cont. Apêndice 1

[illegible]

Cont. Apêndice 1

[illegible]

Cont. Apêndice 1

Subfamilia	Tribo	Subtribo	Género	Epécie		A R A G	C A F U	C A L C	C A N A	C A T O	C H A C	C I P O	E M A S	F U R I	I T B I	I T A C	J T A L	L A G O	M A Q U	M E S A	M O G I	M O G O	O U R O	O P E B S	P E C E	p N B	R I F U	S E R T	S U C U	T O C A	T R I J	U B E R	V E A D						
Panicoidae	Paspaleae	Paspalinae	<i>Paspalum</i>	<i>parviflorum</i>	C4	x													x	x	x	x		x	x		x	x					x	x					
				<i>pectinatum</i>	C4		x	x						x	x						x	x	x	x		x	x		x	x					x	x			
				<i>pictum</i>	C4																															x			
				<i>pilosum</i>	C4		x		x					x		x		x							x		x	x		x	x						x		
				<i>plenum</i>	C4																												x						
				<i>plicatulum</i>	C4		x						x	x							x		x	x			x	x		x	x						x		
				<i>polyphyllum</i>	C4		x	x	x					x		x	x	x					x	x	x	x	x	x		x	x			x	x		x		
				<i>pumilum</i>	C4														x																	x			
				<i>rectum</i>	C4																		x																
				<i>reduncum</i>	C4			x																					x	x									
				<i>repandum</i>	C4				x																			x											
				<i>robustum</i>	C4																									x									
				<i>rojasii</i>	C4									x																x									
				<i>rupium</i>	C4								x																x										
				<i>scalare</i>	C4		x		x						x													x										x	
				<i>simplex</i>	C4									x														x											
				<i>spissum</i>	C4																x																		
				<i>stellatum</i>	C4		x	x		x					x		x						x		x				x	x		x	x					x	
				<i>subsesquiglume</i>	C4																x																	x	
				<i>thrasvoldes</i>	C4										x				x	x								x	x		x								
				<i>trachycoleon</i>	C4			x		x												x									x	x							
				<i>trichostomum</i>	C4																										x								
				<i>urvillei</i>	C4																																		
				<i>virgatum</i>	C4																																		
				<i>Reimarochloa</i>	C4																																		
				<i>Renvoizea</i>	C3									x																									
				<i>Streptostachys</i>	C3																																		
				<i>Loudetia</i>	C4									x																									
				<i>Loudetiopsis</i>	C4																																		
				<i>Tristachya</i>	C4																																		
				Pooideae	Bromeae	-	-	<i>Bromus</i>	C3																														
<i>Agrostis</i>	C3																																						
<i>Calamagrostis</i>	C3																																						
<i>Polypogon</i>	C3																																						
<i>Chascolytrum</i>	C3																																						

Apêndice 2: Índices de similaridade de Jaccard entre os sítios estudados. Sítios estão nomeados de acordo com a Tabela 1 e a Figura 1.

Sites	ARAG	CAFU	CALC	CANA	CATO	CHAC	CIPO	EMAS	FURN	IBIT	ITAC	JALA	LAGO	MAQU	MESA	MOGI	MOGO	OURO	PEBS	PECE	PNB	RIFU	SERT	SUCU	TOCA	TRIJ	UBER	VEAD
ARAG	1.00																											
CAFU	0.17	1.00																										
CALC	0.12	0.20	1.00																									
CANA	0.12	0.36	0.22	1.00																								
CATO	0.09	0.18	0.13	0.12	1.00																							
CHAC	0.02	0.04	0.03	0.05	0.03	1.00																						
CIPO	0.12	0.31	0.22	0.19	0.19	0.05	1.00																					
EMAS	0.25	0.32	0.20	0.22	0.17	0.04	0.21	1.00																				
FURN	0.24	0.26	0.19	0.20	0.16	0.02	0.18	0.26	1.00																			
IBIT	0.05	0.16	0.22	0.17	0.12	0.01	0.25	0.12	0.15	1.00																		
ITAC	0.05	0.18	0.20	0.14	0.15	0.04	0.22	0.12	0.12	0.19	1.00																	
JALA	0.16	0.15	0.09	0.10	0.14	0.03	0.17	0.17	0.18	0.06	0.06	1.00																
LAGO	0.12	0.30	0.22	0.19	0.11	0.05	0.25	0.22	0.27	0.12	0.15	0.09	1.00															
MAQU	0.15	0.24	0.21	0.17	0.14	0.00	0.16	0.33	0.26	0.17	0.14	0.12	0.15	1.00														
MESA	0.15	0.25	0.12	0.20	0.09	0.02	0.20	0.22	0.23	0.10	0.08	0.17	0.16	0.16	1.00													
MOGI	0.14	0.38	0.15	0.23	0.15	0.07	0.22	0.27	0.21	0.13	0.20	0.11	0.19	0.21	0.18	1.00												
MOGO	0.10	0.15	0.18	0.14	0.17	0.00	0.15	0.15	0.19	0.22	0.20	0.13	0.07	0.20	0.17	0.14	1.00											
OURO	0.11	0.28	0.29	0.21	0.18	0.02	0.34	0.18	0.17	0.26	0.31	0.12	0.24	0.22	0.17	0.21	0.19	1.00										
PEBS	0.19	0.49	0.24	0.35	0.19	0.05	0.31	0.29	0.31	0.17	0.18	0.18	0.27	0.25	0.27	0.29	0.18	0.31	1.00									
PECE	0.07	0.21	0.17	0.17	0.15	0.07	0.18	0.18	0.15	0.20	0.18	0.07	0.13	0.25	0.15	0.21	0.13	0.26	0.25	1.00								
PNB	0.14	0.44	0.23	0.25	0.13	0.04	0.28	0.26	0.22	0.14	0.20	0.14	0.33	0.21	0.19	0.27	0.11	0.30	0.42	0.19	1.00							
RIFU	0.14	0.47	0.21	0.62	0.12	0.07	0.27	0.25	0.20	0.21	0.20	0.11	0.23	0.19	0.27	0.29	0.19	0.26	0.43	0.19	0.30	1.00						
SERT	0.18	0.39	0.20	0.25	0.19	0.04	0.25	0.22	0.26	0.17	0.17	0.18	0.21	0.26	0.25	0.25	0.20	0.28	0.42	0.20	0.28	0.36	1.00					
SUCU	0.14	0.24	0.05	0.19	0.09	0.03	0.11	0.18	0.10	0.08	0.13	0.10	0.12	0.21	0.13	0.18	0.07	0.18	0.20	0.19	0.20	0.24	0.20	1.00				
TOCA	0.17	0.29	0.27	0.21	0.21	0.04	0.25	0.38	0.37	0.25	0.24	0.12	0.25	0.37	0.18	0.27	0.21	0.27	0.35	0.27	0.35	0.22	0.28	0.12	1.00			
TRIJ	0.22	0.22	0.09	0.16	0.08	0.00	0.17	0.20	0.24	0.10	0.09	0.17	0.10	0.22	0.22	0.16	0.16	0.15	0.25	0.11	0.17	0.18	0.26	0.20	0.17	1.00		
UBER	0.12	0.21	0.13	0.14	0.19	0.00	0.13	0.23	0.26	0.14	0.13	0.13	0.18	0.32	0.19	0.18	0.11	0.18	0.22	0.18	0.14	0.18	0.26	0.18	0.23	0.16	1.00	
VEAD	0.15	0.43	0.22	0.26	0.18	0.04	0.34	0.24	0.26	0.20	0.19	0.16	0.23	0.21	0.27	0.29	0.19	0.27	0.37	0.21	0.31	0.37	0.33	0.18	0.24	0.23	0.24	1.00

Apêndice 3: Coordenadas e coeficientes de diversidade florística e funcional dos sítios estudados. Sítios estão nomeados de acordo com a Tabela 1 e a Figura 1.

Sítio	Longitude	Latitude	AvTD	FDis	RaoQ	%C ₃	%C ₄
ARAG	-50.78711263	-12.28940315	59.97	0.18	0.09	10%	90%
CAFU	-48.01188318	-15.56122313	56.38	0.19	0.10	11%	89%
CALC	-43.97527858	-20.11807739	65.02	0.27	0.14	16%	84%
CANA	-46.58408836	-20.33282036	53.14	0.29	0.14	17%	83%
CATO	-41.79928121	-13.31716129	59.15	0.39	0.20	27%	73%
CHAC	-57.76898506	-21.66957502	67.41	0.21	0.11	12%	88%
CIPO	-43.54244331	-19.37748603	61.32	0.28	0.14	17%	83%
EMAS	-52.90843129	-18.12249322	62.47	0.18	0.09	10%	90%
FURN	-47.43519427	-20.22425526	57.93	0.22	0.11	13%	88%
IBIT	-43.88555309	-21.70134512	70.23	0.42	0.21	29%	71%
ITAC	-43.46263807	-20.44217598	61.75	0.43	0.22	32%	68%
JALA	-46.68787565	-10.37642826	55.80	0.21	0.10	12%	88%
LAGO	-43.99011498	-19.54076432	60.19	0.11	0.05	6%	94%
MAQU	-47.86358332	-22.25201991	61.96	0.12	0.06	7%	93%
MESA	-48.37126126	-14.05383589	52.41	0.23	0.11	13%	87%
MOGI	-47.16939849	-22.25335575	51.80	0.27	0.13	16%	84%
MOGO	-42.86632824	-16.42720324	64.58	0.47	0.23	37%	63%
OURO	-43.67731538	-20.483945	62.50	0.31	0.15	19%	81%
PEBS	-47.80554441	-15.83170621	55.45	0.22	0.11	13%	87%
PECE	-49.66166087	-24.17912138	62.00	0.27	0.13	16%	84%
PNB	-47.99508189	-15.67988006	59.10	0.09	0.05	5%	95%
RIFU	-47.94554202	-15.86137672	56.28	0.29	0.14	17%	83%
SERT	-45.8375767	-15.08430308	58.35	0.23	0.12	13%	87%
SUCU	-52.12253081	-19.35347396	58.28	0.21	0.10	12%	88%
TOCA	-44.87052376	-21.96525755	61.84	0.14	0.07	8%	92%
TRIJ	-45.92864865	-14.75867852	62.33	0.28	0.14	17%	83%
UBER	-48.13345138	-19.08308215	55.75	0.20	0.10	11%	89%
VEAD	-47.36951124	-13.96002775	57.91	0.27	0.14	16%	84%

(AvTD: Diversidade taxonômica; FDis: Dispersão funcional; RaoQ: Entropia Quadrática de Rao (Diversidade funcional).)

Apêndice 4: Variáveis climáticas dos sítios estudados, segundo o WolrdClim. Sítios estão nomeados de acordo com a Tabela 1 e a Figura 1.

Sítio	bio01	bio02	bio03	bio04	bio05	bio06	bio07	bio08	bio09	bio10
ARAG	26.7728724	12.66752418	77.82708206	93.84335722	34.34024845	18.05795488	16.28229358	27.20827075	25.46288243	27.66006752
CAFU	21.24560104	11.11263064	70.30682369	112.5336726	28.45139369	12.63902442	15.81236927	21.7358885	19.70296167	22.15139372
CALC	17.51999994	11.02333326	65.34218041	183.6051555	25.64999962	8.779999924	16.86999969	19.02499994	15.00666676	19.45666647
CANA	18.73998274	10.7713952	59.51051319	209.2749757	27.16839968	9.074207964	18.09419172	20.58686705	15.81076361	20.76707961
CATO	20.15925148	11.48996265	77.48693335	120.9139567	27.14603176	12.31979457	14.82623719	20.94316838	18.59086523	21.18404918
CHAC	24.77976177	12.18452382	59.32028786	305.9790769	34.47285723	13.93285693	20.5400003	27.83547591	20.78690462	28.065476
CIPO	18.26331546	11.1994191	63.01958621	202.1076119	26.8463807	9.067292254	17.77908845	19.93016084	15.4549151	20.36461126
EMAS	21.48774077	12.86925327	70.99755907	165.398497	29.751383	11.62513831	18.12624469	22.61209792	19.22389878	22.85534734
FURN	20.57483977	9.45865385	60.96096971	184.7024083	27.6576924	12.14230768	15.51538471	22.12307701	18.02948718	22.25192313
IBIT	16.37478068	10.01798241	60.02559651	204.2000679	24.69473668	8.005263228	16.68947345	18.70087715	13.76842105	18.7578947
ITAC	17.94600224	11.35957206	62.57629075	211.8973967	26.83243241	8.677027019	18.15540539	19.67792794	15.06599099	20.26126125
JALA	24.67348304	13.77922807	79.57117497	85.6731265	32.74030563	15.41817702	17.3221286	24.55581314	23.79607481	25.78100628
LAGO	21.22982832	13.06881257	63.67772044	198.8262145	31.06137332	10.53712449	20.52424883	22.77975681	18.48193846	23.20067956
MAQU	19.88124986	11.29583303	59.4517528	236.9154726	28.89999962	9.899999619	19	22.28333314	16.69166644	22.3499999
MESA	24.64854357	10.35559196	71.31262423	101.6270547	31.23289731	16.71233636	14.52056095	25.03068539	23.20283477	25.51803719
MOGI	20.64583339	12.70166659	62.56735683	237.9101483	30.2	9.899999809	20.30000019	22.97666677	17.43999999	23.02333342
MOGO	21.02743664	12.26895711	70.33159633	177.1550044	29.42456141	11.97953216	17.44502925	22.28542886	18.47660818	22.71247564
OURO	17.95525175	11.15720489	63.49375682	202.0344753	26.52187508	8.950000058	17.57187503	19.60868058	15.21336807	20.14739585
PEBS	20.59166659	11.15555562	69.86820938	116.720548	27.93333308	11.96666654	15.96666654	21.17222219	18.94444439	21.43888897
PECE	18.40773818	13.42500007	59.18270072	285.2317274	29.27142879	6.585714204	22.68571459	21.50952394	14.94761917	21.58809544
PNB	20.44947481	11.55795989	72.07312184	111.1263272	27.80224096	11.76694678	16.03529418	20.93879553	18.91760037	21.33216627
RIFU	21.08958334	11.53750026	70.13786791	124.4006715	28.62500048	12.17499995	16.45000052	21.7416666	19.36250003	22.0374999
SERT	22.6269649	12.0901472	70.26850006	131.6776023	30.4384698	13.23049695	17.20797285	23.27061732	20.7551007	23.77180908
SUCU	22.73795855	12.39896559	66.29311355	190.531582	31.38572324	12.67273996	18.71298328	24.36924683	20.22558853	24.417812
TOCA	19.08333333	13.93333308	61.65191784	256.8633604	29.89999962	7.300000191	22.59999943	21.76666657	15.6500001	21.76666657
TRIJ	22.54213395	11.84595014	71.65092126	117.5404456	30.06214969	13.52943932	16.53271037	23.06799069	20.89890954	23.61331788
UBER	21.09270833	11.57291687	69.50714416	143.9317745	28.65000057	12	16.65000057	22.05416683	19.28749983	22.14166665
VEAD	22.01195523	10.73184939	73.49805522	91.0910249	28.62019066	14.01164454	14.60854613	22.20853479	20.88556351	22.93433776

Sítio	bio11	bio12	bio13	bio14	bio15	bio16	bio17	bio18	bio19
ARAG	25.43822274	1599.419144	304.9647174	2.704671676	85.98812478	816.6775564	14.02058151	400.6788631	28.55014701
CAFU	19.58597561	1497.621951	248.4773519	7.515679443	78.59524703	717.3188153	27.96864111	425.7317073	47.05923345
CALC	15.00666676	1616.6	331.1	15.1	85.9547222	891.7	51	699.5	51
CANA	15.81073653	1638.108855	303.0361495	17.28513404	76.97698244	832.2997563	62.06255077	717.1571893	62.34606011
CATO	18.38442266	928.8422035	158.4612512	15.10457516	71.36523041	447.9738562	53.43604108	383.9383754	55.26610644
CHAC	20.78690462	1157.714286	161.9	29.47142857	45.24038779	450.7428571	120.7714286	420.8285714	120.7714286
CIPO	15.4549151	1538.887399	321.8310992	12.51742627	86.35459726	852.7908847	43.00536193	637.772118	43.00536193
EMAS	19.05090149	1606.606638	306.3939766	21.18070068	70.69921721	761.8893669	72.43945913	575.484327	105.6355255
FURN	17.92435891	1554.153846	289.3461538	14.07692308	79.70464433	796.8461538	48.84615385	724.7692308	77.19230769
IBIT	13.76842105	1670.789474	306.8421053	23.10526316	75.1138699	825.7894737	81.05263158	715.4736842	81.05263158
ITAC	15.06599099	1508.135135	297.9324324	17.63513514	80.01565691	791.6486486	61.64864865	631.0405405	61.64864865
JALA	23.68672286	1296.253425	227.8651212	1.182297155	83.81571645	642.625922	8.638040042	321.7544784	32.98524763
LAGO	18.48193846	1329.538627	278.8712446	10.54291845	89.46237422	755.1373391	34.81759657	560.3626609	34.81759657
MAQU	16.69166644	1349.5	252.5	24	72.65754243	677.5	85	616.5	85
MESA	23.19953258	1482.119626	257.3439252	3.525233645	85.87183146	743.4747664	12.24859813	416.5084112	17.31588785
MOGI	17.43999999	1310	242.4	19.8	74.53193807	664.4	80	608.6	80
MOGO	18.46905457	963.8274854	215.3274854	5.862573099	93.87215676	569.1812865	20.59064327	364.1812865	20.59064327
OURO	15.21336807	1498.041667	300.7395833	13.05208333	83.23014781	802.1458333	49.82291667	644.9479167	49.82291667
PEBS	18.87222205	1501	258.6666667	7.333333333	79.10372772	726	28.66666667	418	47.33333333
PECE	14.61904763	1303.142857	197.5714286	53.57142857	40.52257807	506.7142857	186.8571429	474.7142857	207.5714286
PNB	18.81008401	1520.616246	247.0308123	8.703081232	76.55128203	716.8851541	31.97759104	436.1092437	53.2745098
RIFU	19.23749995	1516.25	260.75	7.75	79.01726183	729.75	28.75	422.5	47.75
SERT	20.75335477	1691.441187	372.5005363	2.156596353	94.82553034	967.8494816	13.53485878	455.7718985	19.86664283
SUCU	20.00445037	1460.353747	277.8804362	21.79409154	70.3777687	700.1125903	73.54304552	652.4700139	107.5586408
TOCA	15.61666679	1537	295	18	78.82270515	800	68	800	86
TRIJ	20.88660427	1473.911215	312.2336449	2.172897196	91.14402379	806.5747664	13.96728972	392.0327103	29.06542056
UBER	18.87083324	1579.75	309.25	12.75	82.5758439	811.75	39.5	465.5	55.75
VEAD	20.78223244	1619.933606	281.3792986	4.756894791	83.85985683	802.629554	18.85733742	462.8852571	36.05141301

(bio1: Temperatura média anual; bio2: Faixa diurna média [média do mês (temperatura máxima - temperatura mínima)]; bio3: Isotérmica (bio2 / bio7) (* 100); bio4: Sazonalidade da temperatura (desvio padrão * 100); bio5: Temperatura máxima do mês mais quente; bio6: Temperatura mínima do mês mais frio; bio7: Faixa anual de temperatura (bio5 - bio6); bio8: Temperatura média do quadrimestre mais úmido; bio9 Temperatura média do quadrimestre mais seco; bio10: Temperatura média do trimestre mais quente; bio11: Temperatura média do quadrimestre mais frio; bio12: Precipitação anual; bio13: Precipitação do mês mais chuvoso; bio14: Precipitação do mês mais seco; bio15: Sazonalidade da precipitação (coeficiente de variação); bio16: Precipitação do quadrimestre mais chuvoso; bio17: Precipitação do quadrimestre mais seco; bio18: Precipitação do trimestre mais quente; bio19: Precipitação do trimestre mais frio). Fonte: WorldClim (Fick & Hijmans, 2017; <http://www.worldclim.org/bioclim>).

Apêndice 5: Variáveis pedológicas dos sítios estudados. Sítios estão nomeados de acordo com a Tabela 1 e a Figura 1.

Sítio	Altitude	Declividade	T_SAND	T_SILT	T_CLAY	T_PH_H2O	T_CEC_SOIL	T_BS	T_TEB	T_OC
ARAG	202.2652175	2.286529269	28.9	33.2	37.9	5.345	12.6	20.75	2.205	3.272
CAFU	1239.757709	9.439319856	44.25	17	38.75	5.275	8.8	35.3	3.915	1.682
CALC	1419.051854	19.9644781	62.4	14.4	23.2	5.22	3	52.2	1.6	0.316
CANA	1328.545907	21.63050277	57.85	4.9	37.25	4.86	5.8	27.1	1.585	0.9305
CATO	984.1256017	9.750710139	65.35	15.95	18.7	4.485	6.75	13.6	0.95	1.1535
CHAC	95.28772218	2.888792627	40.75	29.8	29.45	5.75	20.65	70.15	14.22	0.966
CIPO	1284.285786	13.50242365	62.4	14.4	23.2	5.22	3	52.2	1.6	0.316
EMAS	846.4531549	2.556922043	48.4	9	42.6	4.92	6	16.8	0.84	1.17
FURN	748.0215561	21.2565145	57.85	4.9	37.25	4.86	5.8	27.1	1.585	0.9305
IBIT	1455.615328	21.31602369	50.4	18.4	31.2	4.68	21.4	27.2	5.06	4.162
ITAC	1236.467964	43.79311872	62.4	14.4	23.2	5.22	3	52.2	1.6	0.316
JALA	397.6856338	3.567270982	84.9	3.8	11.3	4.88	2.1	18.3	0.36	0.367
LAGO	773.6782611	17.56980188	85.6	3.8	10.6	6.7	5.4	66.2	3.28	0.628
MAQU	719.2963889	3.508169105	50.2	10.2	39.6	5.32	10.2	33.4	3.24	1.772
MESA	477.1216261	5.364784073	59	21.2	19.8	5.52	4.6	34.6	1.6	0.82
MOGI	625.3575494	6.904954349	50.2	10.2	39.6	5.32	10.2	33.4	3.24	1.772
MOGO	774.945164	27.13490828	68.95	12.15	18.9	4.97	6.55	29.9	3.19	0.919
OURO	1107.370737	3.471525629	62.4	14.4	23.2	5.22	3	52.2	1.6	0.316
PEBS	839.9498273	21.45245134	44.25	17	38.75	5.275	8.8	35.3	3.915	1.682
PECE	1089.365202	5.34772169	47.05	18.6	34.35	4.74	7.8	28.2	2.09	1.044
PNB	1301.157596	19.43406629	44.25	17	38.75	5.275	8.8	35.3	3.915	1.682
RIFU	1015.389786	5.090505045	44.25	17	38.75	5.275	8.8	35.3	3.915	1.682
SERT	768.0589465	3.937794683	84.9	3.8	11.3	4.88	2.1	18.3	0.36	0.367
SUCU	592.7330546	4.921685644	86.3	4.1	9.6	5.145	7.5	23.4	1.71	0.894
TOCA	1042.190698	25.61811229	50.4	18.4	31.2	4.68	21.4	27.2	5.06	4.162
TRIJ	865.2601885	2.401962924	84.9	3.8	11.3	4.88	2.1	18.3	0.36	0.367
UBER	940.3871194	7.151268704	85.6	3.8	10.6	6.7	5.4	66.2	3.28	0.628
VEAD	1367.74681	17.06953617	24.4	42.6	33	4.96	6	18	0.96	0.97

(T_SAND: areia; T_SILT: silte; T_CLAY: argila; T_P H_H2O: pH em água; T_BS: soma de bases; T_TEB: total de bases trocáveis; T_OC: carbono orgânico.) Fonte: Projeto Topodata (Valeriano, 2005) e HWSD versão 1.2, Nachtergaele et al., 2010).

Apêndice 6: Variáveis de forma e da matriz de entorno dos sítios estudados. Sítios estão nomeados de acordo com a Tabela 1 e a Figura 1.

Sítio	Extensão_ha	Shape_factor	Native.all.1985	Native.grass.1985	Agricultural.1985	Non_native.1985	Native.all.2000	Native.grass.2000
ARAG	255417.9	1.60423	0.788940831	0.230993347	0.136005759	0.211059169	0.817189239	0.257281955
CAFU	47383.1	1.57880	0.708685767	0.240086007	0.275471171	0.291314233	0.690673746	0.255853907
CALC	657.7	2.15388	0.866404124	0.653607909	0.07926871	0.133595876	0.233430419	0.681940627
CANA	197970.7	5.14268	0.395450667	0.132607549	0.583213009	0.604549333	0.400610732	0.144063815
CATO	89358.2	1.18322	0.785427579	0.212818495	0.212961565	0.214572421	0.766794104	0.240997883
CHAC	5288.3	1.14792	0.640719111	0.097065339	0.359061201	0.359280889	0.357633231	0.08013108
CIPO	30118.8	1.70932	0.881440664	0.54066722	0.106243983	0.118559336	0.827950207	0.578874689
EMAS	132786.8	1.47240	0.331593389	0.158379938	0.668213209	0.668406611	0.262839057	0.136835786
FURN	2043.0	2.16007	0.227745489	0.019932279	0.762349017	0.772254511	0.253863648	0.020063678
IBIT	1511.7	1.32097	0.471424313	0.037680885	0.518223945	0.528575687	0.53394125	0.045011111
ITAC	5996.4	1.49688	0.600358669	0.088148573	0.338134436	0.399641331	0.561704809	0.118360786
JALA	158971.0	1.68429	0.99164305	0.692004596	0.001638747	0.00835695	0.992810286	0.698821718
LAGO	37735.3	1.98968	0.399716094	0.021982019	0.544375111	0.600283906	0.367747087	0.040193411
MAQU	65.1	1.43222	0.376058452	0.012885503	0.623261873	0.623941548	0.306986491	0.062161933
MESA	44694.3	3.95759	0.855261021	0.196364947	0.141157567	0.144738979	0.496149152	0.143003022
MOGI	358.3	1.77634	0.43044238	0.013892493	0.563294753	0.56955762	0.359094133	0.014498019
MOGO	28390.7	2.51570	0.804663259	0.169722126	0.192021215	0.195336741	0.883851544	0.201053077
OURO	7523.3	2.19662	0.639998051	0.204259103	0.306169426	0.360001949	0.40423109	0.251727939
PEBS	246.8	1.84921	0.643207605	0.200877798	0.214121435	0.356792395	0.49658847	0.190509046
PECE	481.9	1.67947	0.194263905	0.043451877	0.797927213	0.805736095	0.241388672	0.0953514
PNB	29616.9	1.30666	0.625499037	0.319014633	0.303156126	0.374500963	0.498262081	0.275140386
RIFU	311.4	1.27954	0.502423228	0.133696083	0.202383575	0.497576772	0.459972684	0.144886989
SERT	230853.3	1.65818	0.764808216	0.407556086	0.235150333	0.235191784	0.768619161	0.447041207
SUCU	635867.4	2.54546	0.365349388	0.052510574	0.632644722	0.634650612	0.232216923	0.047045803
TOCA	39.8	1.25530	0.068783753	0.031465252	0.904828121	0.931216247	0.077030042	0.033146849
TRIJ	17565.8	1.57168	0.557271464	0.398190955	0.442728536	0.442728536	0.688100075	0.504257458
UBER	3.3	1.23355	0.329389267	0.140273296	0.670610733	0.670610733	0.175212143	0.069519143
VEAD	242080.9	3.07517	0.887928973	0.267960453	0.111594379	0.112071027	0.827677542	0.285378456

Sítio	Agricultural.2000	Non_native.2000	Native.all.2015	Native.grass.2015	Agricultural.2015	Non_native.2015
ARAG	0.102387083	0.182810761	0.80841825	0.262515804	0.117104465	0.19158175
CAFU	0.2816774	0.311063031	0.725973011	0.269146832	0.237071476	0.274574597
CALC	0.031901656	0.093394046	0.226306218	0.656260683	0.05073088	0.128987707
CANA	0.579508346	0.599389268	0.443487598	0.182066327	0.53863242	0.556512402
CATO	0.231136687	0.233205896	0.751008772	0.239267802	0.245960274	0.248991228
CHAC	0.642321	0.642366769	0.379483002	0.083023635	0.62009593	0.620516998
CIPO	0.08640332	0.095568465	0.833374274	0.588484647	0.079760996	0.090317012
EMAS	0.737092446	0.737160943	0.273411688	0.146524006	0.726330443	0.726588312
FURN	0.728073988	0.746136352	0.254510537	0.023409309	0.721776924	0.745489463
IBIT	0.457319386	0.46605875	0.609641754	0.058316622	0.384057775	0.390358246
ITAC	0.297768012	0.339693516	0.543965232	0.113893579	0.310176022	0.358539797
JALA	0.001165588	0.007189714	0.990830271	0.703894579	0.001655233	0.009169729
LAGO	0.545750281	0.634834684	0.361439049	0.030797894	0.524903886	0.641598155
MAQU	0.690436408	0.693155107	0.325875789	0.030755289	0.670697516	0.674549007
MESA	0.095047047	0.503850848	0.487768329	0.156857462	0.186608646	0.512231671
MOGI	0.632739918	0.640905867	0.338627359	0.038546046	0.655057871	0.661372641
MOGO	0.112346106	0.116148456	0.849266562	0.162145612	0.146574939	0.150733438
OURO	0.317557075	0.363546126	0.439843374	0.270344004	0.2592243	0.314548787
PEBS	0.281987887	0.50341153	0.508988807	0.16450092	0.18408847	0.491011193
PECE	0.754028201	0.758611328	0.249676626	0.077961067	0.743696204	0.750323374
PNB	0.41332131	0.501996147	0.561802681	0.317998115	0.327290241	0.438324384
RIFU	0.17136626	0.540027316	0.432634269	0.169537824	0.155879632	0.567365731
SERT	0.231252599	0.231380839	0.702055864	0.394143943	0.297883255	0.297944136
SUCU	0.76559056	0.767783077	0.215238063	0.049514305	0.780530486	0.784761937
TOCA	0.879313133	0.922969958	0.071694208	0.024221453	0.856870291	0.928305792
TRIJ	0.311899925	0.311899925	0.555197263	0.419612958	0.444802737	0.444802737
UBER	0.824787857	0.824787857	0.255926059	0.059479702	0.744073941	0.744073941
VEAD	0.169573438	0.170113438	0.798559046	0.274828856	0.198129309	0.199250034

(Extensão_ha: Extensão do sítio em hectares; Shape_factor: Fator do estreitamento; Native.all.(ano): Presença de áreas nativas na matriz de entorno (ano base); Native.grass.(ano): Presença de campos nativos na matriz de entorno (ano base); Agricultural.(ano): Presença de áreas agrícolas na matriz de entorno (ano base); Non_native.(ano): Áreas não-nativas na matriz de entorno (ano base). Fonte: MapBiomias (<http://mapbiomas.org/>).

Apêndice 7: Valores dos eixos das Análises de Componentes Principais considerando os 28 sítios do Cerrado, Brasil. Sítios estão nomeados de acordo com a Tabela 1 e a Figura 1.

Sítio	PCAclima_1	PCAclima_2	PCAsolo_1	PCAsolo_2	PCAdist_1	PCAdist_2
ARAG	6.926396125	0.416109969	2.957458014	-0.20075528	1.07539955	1.259066728
CAFU	1.03761298	-1.228880736	1.256866978	0.001804037	-0.164719442	0.876427295
CALC	-3.375492666	-2.990845588	-1.092092236	-0.486493423	-0.576881376	-1.057928909
CANA	-3.156972398	-1.377544858	-0.299852469	-1.16782219	2.807344066	-1.867989519
CATO	0.722257601	1.012359661	-0.624859674	-1.034796934	-0.139308443	1.322675439
CHAC	1.713882285	7.542641853	3.291093719	3.740172809	-1.121322317	-0.14347773
CIPO	-2.671605226	-2.21220672	-1.130916323	-0.360403898	0.019410509	1.330412213
EMAS	-0.075523281	0.819674615	0.204580625	-1.137218476	-0.360316856	-0.686095303
FURN	-0.929660356	-1.117464456	-0.302099394	-1.16052482	-0.538943146	-0.985731427
IBIT	-5.060033709	-2.177217531	3.194015954	0.180503849	-0.787339178	0.430646233
ITAC	-3.237142979	-1.19873221	-0.948929525	-0.951444937	-0.601249457	0.451706277
JALA	5.582454902	1.181960411	-2.775492068	-0.305012753	0.869775361	1.905548327
LAGO	0.305755709	0.566353707	-2.402730959	2.590202677	-0.333599561	-0.500079842
MAQU	-2.016183653	1.644572676	0.877047646	0.192926871	-1.007457627	-0.45797464
MESA	4.793676871	-0.680798347	-0.673673679	0.267815478	1.292921122	-0.922432521
MOGI	-1.098579017	2.348703834	0.897455566	0.126647788	-0.689406324	-0.421934283
MOGO	1.525699771	0.501319948	-0.706906344	-0.212735723	0.666854329	1.171103833
OURO	-2.81851637	-1.746649903	-1.191182059	-0.164678036	-0.290254844	-0.448681399
PEBS	0.71831966	-1.23725159	1.329041992	-0.232599752	-0.459495951	0.053014447
PECE	-5.43258668	6.460348915	0.63039067	-0.92565947	-0.911059904	-0.812862647
PNB	0.338369396	-1.323112478	1.316915515	-0.193216424	-0.700856556	0.295421231
RIFU	0.935077854	-0.994552285	1.230739255	0.086659403	-0.919049178	0.176591766
SERT	2.490716318	-2.384957622	-2.773265958	-0.312242522	0.926745932	1.063738786
SUCU	0.669249681	2.219628176	-2.107979423	0.648457624	2.936184482	-1.464072221
TOCA	-3.143858972	1.087350703	3.219862945	0.096560218	-1.432920119	-1.227225734
TRIJ	2.722397242	-1.491909306	-2.782493251	-0.282274916	-0.32487045	0.880654425
UBER	0.534128579	-1.215586969	-2.46532561	2.79349219	-1.321961651	-0.854556792
VEAD	2.000160334	-2.42331387	1.872330093	-1.59736339	2.086377031	0.634035968

(PCA Clima 1: Maior temperatura e menor precipitação na estação seca; PCA Clima 2: Menor sazonalidade e maior precipitação total; PCA Solo 1: Maior taxa de argila e maior retenção hídrica; PCA Solo 2: Maior fertilidade e menor acidez; PCA Dist 1: Maior extensão; PCA Dist 2: Maior conservação da matriz de entorno.)

