



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**



TATIANA CORREA GODOI BUENO

**Dinâmica da vegetação, do regime de fogos e da poluição
antrópica em uma turfeira da Serra da Canastra durante o
Holoceno**

OURO PRETO

2026

TATIANA CORREA GODOI BUENO

Dinâmica da vegetação, do regime de fogos e da poluição
antrópica em uma turfeira da Serra da Canastra durante o
Holoceno

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia
Geológica da Universidade Federal de Ouro Preto,
como requisito parcial para obtenção do título de
Engenheira Geóloga.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Raquel Franco Cassino

OURO PRETO

2026

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

B928d Bueno, Tatiana Correa Godoi.

Dinâmica da vegetação, do regime de fogos e da poluição antrópica em uma turfeira da serra da canastra durante o holoceno. [manuscrito] / Tatiana Correa Godoi Bueno. - 2026.

73 f.: il.: color., gráf., mapa. + Quadro.

Orientadora: Profa. Dra. Raquel Franco Cassino.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Geológica .

1. Palinologia. 2. Turfeira. 3. Carvão Vegetal. 4. Microplástico. 5. Paleoeecologia - Reconstrução paleoambiental. I. Cassino, Raquel Franco. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 56.02

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



FOLHA DE APROVAÇÃO

Tatiana Correa Godoi Bueno

Dinâmica da vegetação, do regime de fogos e da poluição antrópica em uma turfeira da Serra da Canastra durante o Holoceno

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Geológica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de engenheiro geólogo

Aprovada em 03 de março de 2026

Membros da banca

Dra. Raquel Franco Cassino - Orientador(a) (Universidade Federal de Ouro Preto)
Dra. Mariza Gomes Rodrigues - (Universidade Federal de Ouro Preto)
Dra. Makênia Oliveira Soares Gomes - (Universidade do Estado de Minas Gerais)

Raquel Franco Cassino, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 05/03/2026



Documento assinado eletronicamente por **Raquel Franco Cassino, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 05/03/2026, às 14:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1069981** e o código CRC **0C0DDE96**.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo reconstruir a dinâmica ambiental registrada em uma turfeira da Serra da Canastra (MG) por meio da análise integrada de dados palinológicos, partículas de carvão vegetal e microplásticos, a partir do testemunho de sondagem SCP1 e SCP2. A investigação da presença de microplásticos revelou um padrão de distribuição incompatível com contaminação durante a coleta ou infiltração superficial simples, sendo mais plausível o transporte via lençol freático contaminado em sua zona de recarga. A análise do diagrama polínico permitiu a identificação de duas fases distintas ao longo do perfil sedimentar, evidenciando variações na composição da vegetação, na concentração polínica e na representatividade de espécies herbáceas, arbustivas e arbóreas. A Fase 1 foi caracterizada por menor concentração de pólen, predominância de herbáceas e baixa ocorrência de queimadas. Já a Fase 2 apresentou aumento da concentração polínica, maior frequência de carvão vegetal e indícios de alterações nas condições de umidade, especialmente nos níveis mais superficiais. A análise do carvão vegetal indicou intensificação das queimadas nos níveis superiores do testemunho, sugerindo influência antrópica recente no regime de fogo da área, com predominância de combustível herbáceo. Os resultados demonstram que, embora a área tenha mantido ao longo do tempo características predominantemente herbáceas, ocorreram variações ambientais e aumento da interferência antrópica nos níveis mais recentes. A abordagem multiproxy adotada mostrou-se eficaz para a reconstrução paleoambiental e para a identificação de impactos ambientais contemporâneos, contribuindo para a compreensão da dinâmica ecológica e da vulnerabilidade de ecossistemas de turfeira.

Palavras-chave: Carvão vegetal, Microplásticos, Palinologia, Reconstrução paleoambiental, Turfeira.

ABSTRACT

This study aimed to reconstruct the environmental dynamics recorded in a peatland located on the Serra da Canastra (MG) through the integrated analysis of palynological data, charcoal particles, and microplastics, based on the sediment core SCP1 and SCP2. The pollen diagram analysis enabled the identification of two distinct phases along the sedimentary profile, revealing variations in vegetation composition, pollen concentration, and the relative representation of herbaceous, shrub, and arboreal species. Phase 1 was characterized by lower pollen concentration, a predominance of herbaceous taxa, and low fire occurrence. In contrast, Phase 2 showed an increase in pollen concentration, a higher frequency of charcoal particles, and evidence of changes in moisture conditions, particularly in the uppermost levels. Charcoal analysis indicated an intensification of fire activity in the upper sections of the core, suggesting recent anthropogenic influence on the area's fire regime, with herbaceous material as the predominant fuel source. The investigation of microplastics revealed a distribution pattern inconsistent with contamination during sampling or simple surface infiltration, making transport via a contaminated groundwater table in its recharge zone the most plausible explanation. The results demonstrate that, although the area maintained predominantly herbaceous characteristics over time, environmental variations and increased anthropogenic interference occurred in the most recent layers. The multiproxy approach adopted proved effective for paleoenvironmental reconstruction and for identifying contemporary environmental impacts, contributing to a better understanding of the ecological dynamics and vulnerability of peatland ecosystems.

Keywords: Charcoal, Microplastics, Peatland, Paleoenvironmental reconstruction, Palynology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização dos testemunhos SCP1 e SCP2 situados na Serra da Canastra, no município de São Roque de Minas (MG). A MG-341 está representada pela linha amarela no mapa, sendo uma via de acesso para as turfeiras.....	12
Figura 2: Mapa geológico da Serra da Canastra.....	15
Figura 3: Gráfico pluviométrico do clima subtropical da Serra da Canastra- MG.....	16
Figura 4: Chapadão da Serra da Canastra (MG), exemplificando a vegetação do local.	17
Figura 5: A imagem mostra o layout do software ImageJ, onde a esquerda é possível observar a foto que está sendo processada e a direita a tabela com os resultados do processamento.....	20
Figura 6: Exemplo de diagrama polínico do Lago Carp, Oregon.	22
Figura 7: Na imagem A pode ser observada as partículas de carvão presentes no SCP1-06 e na imagem B pode ser observada as partículas no SCP1-07. Escala = 500 μm	29
Figura 8: Mosaico de imagens mostrando as partículas de carvão encontradas. As imagens de A até D representam as partículas de carvão encontradas no SCP1-01, as imagens de E até G representam as partículas de carvão no SCP1-02, as imagens H e I representam as partículas encontradas no SCP1-03 e a imagem J representa as partículas encontradas no SCP1-04. Escala = 500 μm	30
Figura 9: Na imagem A pode ser observada as partículas de carvão em SCP2-01 e na imagem B poder ser observada as partículas em SCP2-09. Escala = 500 μm	36
Figura 10: Na imagem A é possível observar os filamentos encontrados em SCP1-01, em B é possível observar os filamentos encontrados em SCP1-11, em C os filamentos em SCP1-17 e em D os filamentos encontrados em SCP1-44. Nas imagens nota-se também a predominância de filamentos na coloração azul. Escala = 500 μm	38
Figura 11: Na imagem A é possível observar os filamentos encontrados em SCP2-03, em B é possível observar os filamentos encontrados em SCP2-05 e em C os filamentos em SCP2-09. Nas imagens nota-se também a predominância de filamentos na coloração azul. Escala = 500 μm	40
Figura 12: Imagem de um grão de pólen de Arecaceae. Imagem sem escala. Vista polar em A e B.....	41
Figura 13: Imagem de um grão de pólen de Poaceae. Imagem sem escala. Vista equatorial em A e B.....	43

Figura 14: Imagem de um grão de pólen de <i>Xyris</i> . Imagem sem escala. Vista equatorial em A - C.	44
Figura 15: Imagem de um grão de pólen de <i>Eryngium</i> . Imagem sem escala. Vista equatorial em A e B.	44
Figura 16: Imagem de um grão de pólen de <i>Asteraceae</i> . Imagem sem escala. Vista equatorial de A até C.	45
Figura 17: Imagem de um grão de pólen de <i>Gomphrena</i> . Imagem sem escala. Vista equatorial em A e B.	46
Figura 18: Imagem de um grão de pólen de <i>Polygala</i> . Imagem sem escala. Vista equatorial.	48
Figura 19: Imagem de um grão de pólen de <i>Borreria</i> . Imagem sem escala. Vista polar.	49
Figura 20: Imagem de um grão de pólen de <i>Alchornea</i> . Imagem sem escala. Vista equatorial.	50
Figura 21: Imagem de um grão de pólen de <i>Melastomataceae</i> . Imagem sem escala. Vista equatorial.	52
Figura 22: Imagem de um grão de pólen de <i>Myrtaceae</i> . Imagem sem escala. Vista polar em A e B.	53
Figura 23: Diagrama polínico referente ao testemunho SCP1, coletado na Serra da Canastra (MG).	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Quadro mostrando as concentrações de carvão a cada centímetro e a razão comprimento/largura.	31
Quadro 2: Quadro mostrando as concentrações de carvão a cada centímetro e a razão comprimento/largura.	35
Quadro 3: Quadro com a quantidade de grão de pólen encontrados em cada centímetro analisado.	59

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Gráfico referente ao testemunho de sondagem SCP1 mostrando as concentrações de carvão vegetal presentes em 1 cm³ ao longo dos seus 50 cm superiores.31

Gráfico 2: Gráfico referente ao testemunho de sondagem SCP1 mostrando as concentrações de carvão vegetal presentes em 1 cm³ ao longo dos seus 50 cm superiores, com uma ampliação no eixo X para melhor visualização. A terceira coluna do gráfico apresenta os valores da razão largura/comprimento (C/L).....33

Gráfico 3: Gráfico referente ao testemunho de sondagem SCP2 mostrando as concentrações de carvão vegetal presentes em 1 cm³ ao longo dos seus 10 cm superiores. A terceira coluna do gráfico apresenta os valores da razão comprimento do grão e a sua largura.....35

Gráfico 4: A imagem mostra um gráfico com um conjunto de colunas representando a quantidade total de microplásticos encontrados nos 50 centímetros superiores do testemunho SCP1 e a quantidade total de cada cor.....37

Gráfico 5: A imagem mostra um gráfico com um conjunto de colunas representando a quantidade total de microplásticos encontrados nos 10 centímetros superiores do testemunho SCP2 e a quantidade total de cada cor.....39

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 ÁREA DE ESTUDO	12
1.2 GEOLOGIA DA ÁREA	13
1.3 CLIMA	15
1.4 VEGETAÇÃO	16
2 OBJETIVOS	17
3 JUSTIFICATIVA.....	18
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	18
4.1 COLETA DOS TESTEMUNHOS SEDIMENTARES	18
4.2 ANÁLISE DE PARTÍCULAS DE CARVÃO E MICROPLÁSTICO	19
4.3 ANÁLISE PALINOLÓGICA.....	20
4.4 TRATAMENTO DOS DADOS	21
5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
5.1 PALINOMORFOS	21
5.1.1 Diagrama polínico	22
5.1.2 Efeito Fagerlind	22
5.1.3 Princípio do Uniformitarismo	23
5.1.4 Mapas polínicos	23
5.1.5 Tipos funcionais de plantas	23
5.1.6 Resposta da vegetação	24
5.1.7 Estudos paleoclimáticos	24
5.2 CARVÃO VEGETAL	24
5.3 MICROPLÁSTICOS	25
6 RESULTADOS.....	29
6.1 CARVÃO.....	29

6.2 MICROPLÁSTICO	36
6.3 PALINOLOGIA	40
7 DISCUSSÃO	60
7.1 MICROPLÁSTICO	60
7.2 PARTÍCULAS DE CARVÃO E PALINOLOGIA	61
8 CONCLUSÃO	63
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

1. INTRODUÇÃO

As turfeiras constituem ecossistemas úmidos caracterizados pelo acúmulo de matéria orgânica ao longo de extensos períodos de tempo (LUZ *et al.*, 2023), resultando na formação de organossolos (EMBRAPA, 2018). Sua gênese é favorecida pelas condições de baixa disponibilidade de oxigênio nos solos, em decorrência da saturação hídrica prolongada, o que possibilita a preservação da matéria orgânica.

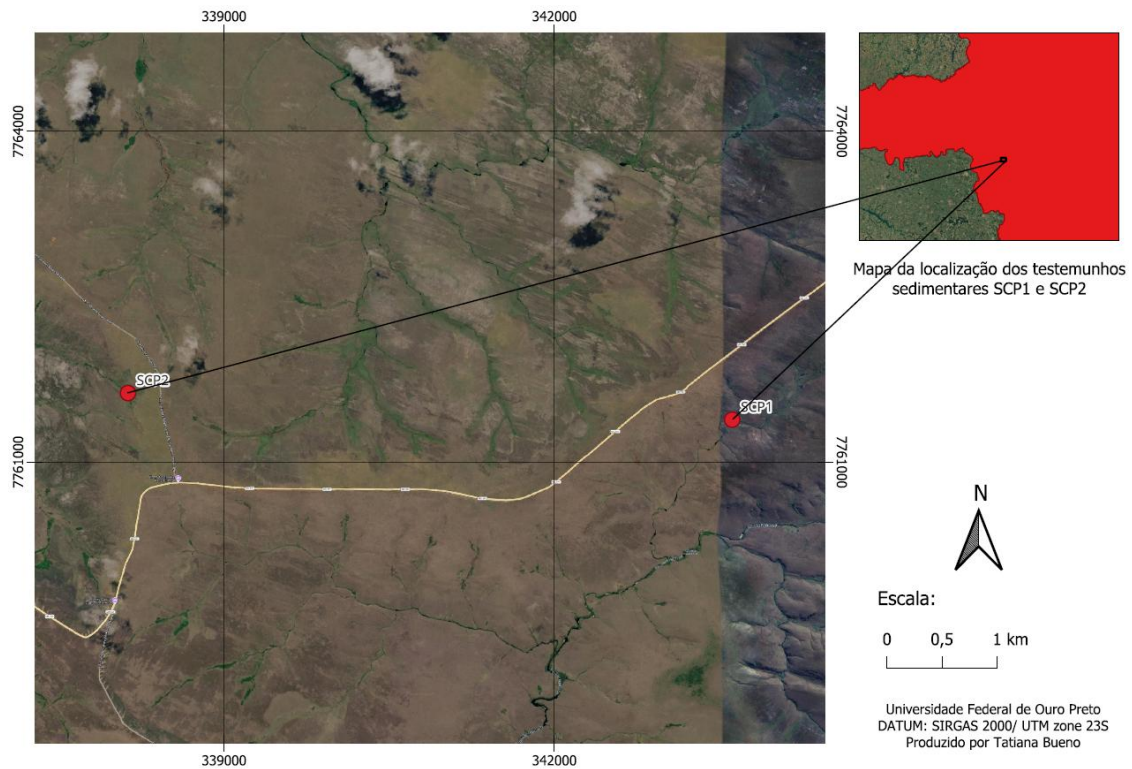
Tais ambientes desempenham um papel ecológico fundamental, destacando-se pelo armazenamento de carbono e água, além de apresentarem elevada biodiversidade. Apesar disso, ocupam uma área restrita, representando aproximadamente 0,1% do território brasileiro (PEREIRA *et al.*, 2005; VALLADARES *et al.*, 2008).

No Brasil, as turfeiras ocorrem predominantemente em planícies fluviais, manguezais e regiões altimontanas (EMBRAPA, 1978; LANI, 1998; PRADA-GAMERO *et al.*, 2004). A vegetação típica desses ambientes é composta por espécies higrófilas pertencentes, principalmente, às famílias Cyperaceae, Eriocaulaceae, Poaceae e Xyridaceae.

Devido à sua capacidade de preservação de materiais orgânicos, as turfeiras são ambientes propícios para estudos paleoecológicos e paleoclimáticos. Essa preservação está relacionada à presença de esporopolenina nas exinas dos grãos de pólen, substância altamente resistente a processos de degradação, inclusive à ação de ácidos fortes, permitindo a conservação dos palinomorfos por milhares de anos. A análise desses palinomorfos possibilita a reconstrução paleoambiental, a identificação de variações climáticas pretéritas e a documentação das respostas da vegetação frente às mudanças climáticas e aos regimes de fogo.

A monografia concentra-se em duas turfeiras localizadas na Serra da Canastra, no município de São Roque de Minas (MG) (Figura 1): a primeira, denominada SCP1, com foco nos 50 centímetros superiores do testemunho sedimentar, e a segunda, SCP2, com ênfase nos 10 centímetros superiores do respectivo testemunho. A partir da integração dos dados de macropartículas de carvão vegetal, da identificação de microplásticos e das análises palinológicas, busca-se reconstruir as transformações ocorridas na paisagem ao longo do intervalo temporal representado, bem como compreender a dinâmica do regime de fogo e avaliar o impacto antrópico recente.

Figura 1: Mapa de localização dos testemunhos SCP1 e SCP2 situados na Serra da Canastra, no município de São Roque de Minas (MG). A MG-341 está representada pela linha amarela no mapa, sendo uma via de acesso para as turfeiras.



Fonte: Autoria própria.

Essa abordagem multifacetada possibilita compreender a evolução paleoambiental da área e, simultaneamente, identificar sinais contemporâneos de degradação ambiental, contribuindo para a discussão acerca da vulnerabilidade dos ecossistemas de turfeira frente às mudanças climáticas e à intensificação das atividades humanas. Dessa forma, o estudo integra perspectivas paleoecológicas e ambientais atuais, ampliando a compreensão da dinâmica ecológica para essa área e fornecendo subsídios para a elaboração de estratégias de conservação e manejo sustentável.

1.1 ÁREA DE ESTUDO

A Serra da Canastra está localizada entre as regiões Oeste e Sul do estado de Minas Gerais (CORTES & MORALES, 2007), abrangendo as bacias hidrográficas dos rios São Francisco, Grande e Paranaíba (CORTES *et al.*, 2022). Inserida no bioma Cerrado, a serra é reconhecida como um dos ecossistemas mais ameaçados do Brasil, e apresenta significativa importância ecológica e hidrológica (FONSECA *et al.*, 2021).

A morfologia é marcada pela alternância entre planaltos e vales, sendo estes frequentemente cortados por nascentes com origem nas áreas mais elevadas (CORTES *et al.*, 2022). Essa configuração favorece a diversidade de ambientes contribuindo para a complexidade ecológica da região.

A Serra da Canastra abrange seis municípios e compreende uma área superior a 200 mil hectares do Parque Nacional da Serra da Canastra (CORTES *et al.*, 2022). Este parque, de caráter ecoturístico e conservacionista, atua para a preservação e proteção da fauna e flora locais, além da manutenção dos recursos hídricos.

As turfeiras da Serra da Canastra constituem ecossistemas de transição, localizados predominantemente em fundos de vale e em áreas úmidas, como nas zonas de drenagem das cabeceiras do Rio São Francisco (NECCHI *et al.*, 2000). Essas formações correspondem a geocoberturas compostas por matéria orgânica acumulada, geralmente situadas em altitudes superiores a 800 metros e associadas a solos mal drenados (CONFESSOR *et al.*, 2024), frequentemente vinculadas a ambientes de veredas e a solos do tipo Gleissolo (CORTES *et al.*, 2022).

As águas provenientes desses ambientes apresentam coloração escura, variando entre tons amarelados e acastanhados, pH ácido e elevada concentração de material orgânico dissolvido, como substâncias húmicas e fúlvicas (compostos orgânicos resultantes da decomposição de resíduos vegetais e animais no ambiente) (NECCHI *et al.*, 2000).

Além de sua relevância para a regulação hídrica regional e para o armazenamento de carbono (FONSECA *et al.*, 2021), as turfeiras atuam como arquivos naturais, preservando palinomorfos que possibilitam a reconstrução da dinâmica da vegetação e das mudanças climáticas ocorridas ao longo do tempo geológico (LUZ *et al.*, 2023).

1.2 GEOLOGIA DA ÁREA

A geologia da Serra da Canastra caracteriza-se por uma complexa transição entre dois domínios morfoestruturais distintos (Figura 2).

Na porção oeste da região, predominam os terrenos fanerozoicos pertencentes à Bacia Sedimentar do Paraná, compostos por rochas sedimentares e ígneas. Destacam-se, nesse contexto, o Grupo São Bento, que compreende a Formação Botucatu (composta predominantemente por arenitos com nível conglomerático superior) (MILANI *et al.*, 1994) e

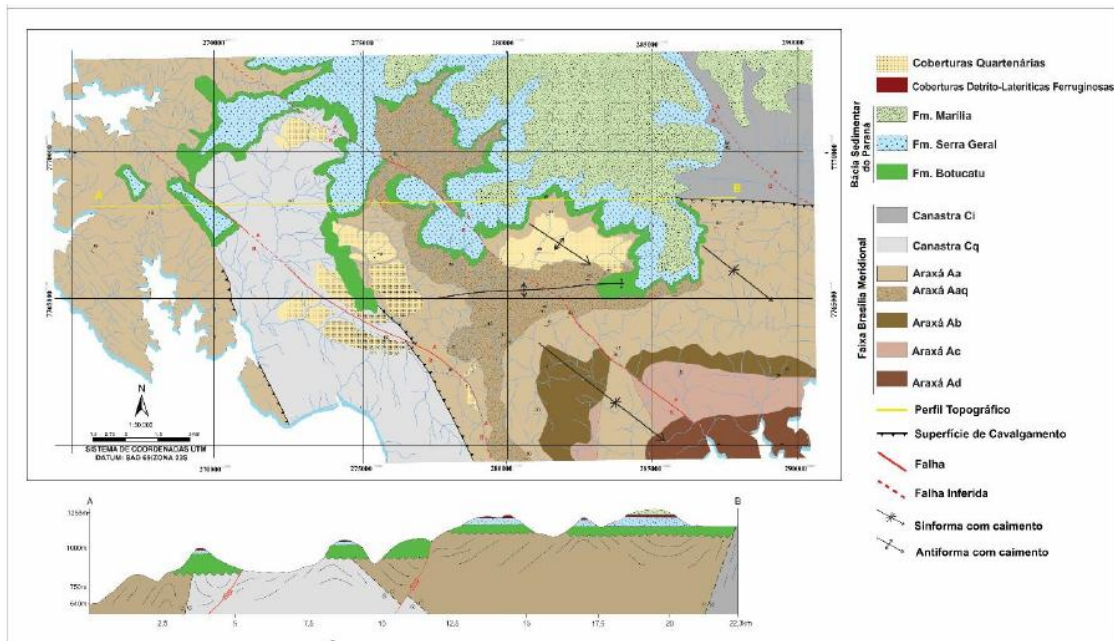
a Formação Serra Geral (constituída por rochas ígneas basálticas e andesíticas) (MILANI *et al.*, 1994). Além disso, afloram rochas do Grupo Bauru, representado principalmente pelos arenitos mal selecionados da Formação Marília (ALVES *et al.*, 1993).

Em contraste, a porção leste da Serra da Canastra é composta por litologias metassedimentares pré-cambrianas da Faixa Brasília Meridional (FBM), que conformam um relevo dobrado e falhado do tipo apalachiano, característico de terrenos orogênicos intensamente erodidos. Entre as unidades geológicas presentes nesta porção, destacam-se: o Grupo Pium-í (Greenstone belt), o Grupo Canastra (formado por quartzitos micáceos e quartzomixistos), o Grupo Araxá (composto por diferentes tipos de xistos) e o Grupo Bambuí (constituído por metapelitos) (SIMÕES, 1995).

A configuração estrutural da região resulta de eventos tectônicos intensos alternados por períodos de relativa estabilidade. A atuação de uma tectônica compressiva deu origem a cavalgamentos com direção preferencial sudoeste-nordeste (SW–NE), dobramentos apertados e à formação da Nappe de Passos (GOMES JÚNIOR *et al.*, 2020). As estruturas de fratura e falha apresentam orientação predominante noroeste-sudeste (NW–SE), exercendo um fator condicionante do relevo (GOMES JÚNIOR *et al.*, 2020). A presença de falhas normais indica reativações tectônicas múltiplas ao longo do tempo geológico.

Durante o Cretáceo Superior, o soerguimento do Alto Paranaíba elevou a porção nordeste da região, intensificando os processos erosivos (HASUI; HARALYI, 1991). Evidências indicam a existência de uma neotectônica ativa desde o Neógeno, expressa por movimentações de blocos crustais e reativação de falhas preexistentes (CORTES *et al.*, 2022). Em períodos tectonicamente estáveis, desenvolveram-se superfícies de aplainamento que, ainda hoje, podem ser observadas na paisagem atual da Serra da Canastra (CORTES *et al.*, 2022).

Figura 2: Mapa geológico da Serra da Canastra.



Fonte: Cortes *et al.*, 2022.

1.3 CLIMA

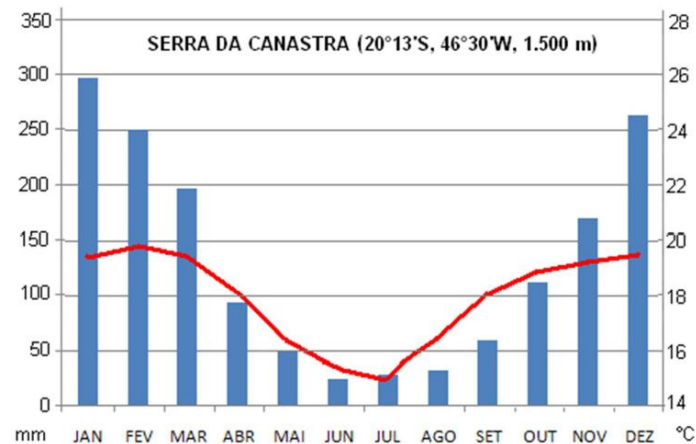
O clima da Serra da Canastra pode ser caracterizado como tropical de altitude, com transição para o subtropical, apresentando características marcantes, como verões chuvosos (de outubro a março) e invernos secos (de abril a setembro) (NOVAIS, 2011) como indicado na Figura 3. A pluviosidade da região é elevada, situando-se em torno de 1.750 mm anuais (NOVAIS, 2011).

As temperaturas médias anuais variam entre 17,7 °C e 22,6 °C (NECCHI JÚNIOR *et al.*, 2000). O relevo exerce grande influência sobre essas temperaturas, uma vez que se trata de uma região de elevada altitude, onde, durante o inverno, ocorre um resfriamento atípico (NOVAIS, 2011).

A classificação de Köppen (1936) constitui um modelo quantitativo e objetivo de caracterização climática. Nesse sistema, parte-se do pressuposto de que a vegetação natural representa a expressão mais fiel do clima. Para sua definição, consideram-se a sazonalidade, bem como os valores médios anuais de temperatura do ar e de precipitação. A classificação é identificada por um código composto por letras maiúsculas e minúsculas que, combinadas, definem os tipos e subtipos climáticos.

De acordo com essa classificação, o clima da Serra da Canastra é definido como temperado úmido, com inverno seco e verão quente (Cwa).

Figura 3: Gráfico pluviométrico do clima subtropical da Serra da Canastra- MG.



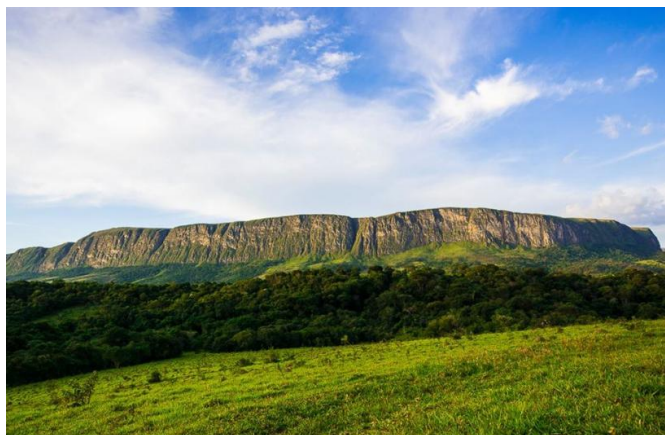
Fonte: Modificado de Giuliano Novais.

1.4 VEGETAÇÃO

A Serra da Canastra está inserida no bioma Cerrado, apresentando diversas fitofisionomias (aspectos externos ou a aparência da vegetação), que variam de acordo com a altitude, o tipo de solo e a umidade. Nessa região, predomina a vegetação campestre (NOVAIS, 2011).

Os campos rupestres ocorrem em altitudes superiores a 1.000 metros e possuem vegetação composta por formações herbáceo-arbustivas, associadas a afloramentos rochosos e a solos rasos. Esses ambientes apresentam elevado grau de endemismo, abrigando espécies raras adaptadas a condições extremas, como ventos constantes e grandes variações térmicas (NOVAIS, 2011).

Figura 4: Chapadão da Serra da Canastra (MG), exemplificando a vegetação do local.



Fonte: Retirado do blog Guia Viagens, foto tirada por Ricardo Junior.

2 OBJETIVOS

A monografia tem como objetivo geral investigar as transformações ocorridas na paisagem ao redor de uma turfeira da Serra da Canastra localizada no município de São Roque de Minas (MG) ao longo do período representado pelos 50 centímetros superiores do testemunho sedimentar (SCP1), por meio da análise palinológica, da identificação de evidências de incêndios, sejam eles naturais ou decorrentes da ação humana, e da detecção de poluição por microplásticos, caracterizando influência direta antrópica.

No que se refere à análise palinológica, o estudo teve como objetivo identificar e quantificar os grãos de pólen preservados em amostras situadas nos 50 centímetros superiores do testemunho sedimentar SCP1, a fim de caracterizar as variações da vegetação ao longo do intervalo temporal representado. A partir dessa interpretação, buscou-se reconstruir a dinâmica paleoambiental da área, inferindo possíveis mudanças climáticas, oscilações na umidade e transformações na paisagem associadas a processos naturais e antrópicos.

Em relação às macropartículas de carvão vegetal, o trabalho visou quantificar sua concentração ao longo dos perfis sedimentares, SCP1 e SCP2, e analisar suas características morfológicas, especialmente a razão comprimento/largura (C/L), com o propósito de inferir o regime de fogo atuante na área ao longo do tempo. Essa abordagem permitiu avaliar a frequência e a intensidade de paleoincêndios, além de indicar o tipo de combustível predominante, herbáceo ou lenhoso, e estimar a possível proximidade das áreas de queima em relação ao local de deposição.

No que diz respeito aos microplásticos, a pesquisa concentrou-se na identificação e caracterização dessas partículas ao longo dos 50 centímetros superiores do testemunho SCP1 e dos 10 centímetros superiores do testemunho SCP2 e considerou aspectos como morfologia, coloração e concentração. O objetivo foi reconhecer evidências de impacto antrópico recente na área de estudo, utilizando a presença de microplásticos como marcador de interferência humana contemporânea.

3 JUSTIFICATIVA

Ao permitir compreender a história ambiental da região estudada, esta monografia contribui diretamente para ações mais eficazes de preservação e conservação. Por meio da análise detalhada dos registros ambientais, é possível identificar as mudanças na vegetação ao longo do tempo, avaliar a ocorrência de incêndios naturais ou provocados e detectar a presença de poluentes, como microplásticos, que evidenciam a influência antrópica. O ecossistema estudado, uma turfeira, possui papel fundamental na hidrologia local, funcionando como acumulações naturais de águas, esses ambientes contribuem para a regulação do fluxo hídrico, garantindo a manutenção dos recursos hídricos em períodos de seca e desempenhando uma função crucial na sustentabilidade ecológica da região. Dessa forma, a monografia não apenas aprimora o entendimento científico sobre a evolução ambiental da área, mas também subsidia políticas públicas e estratégias de manejo que visam preservar seus recursos naturais, assegurar sua integridade ecológica e reduzir os impactos da poluição, mesmo em locais considerados de alta proteção.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 COLETA DOS TESTEMUNHOS SEDIMENTARES

Dois testemunhos sedimentares (SCP1 e SCP2) foram coletados em duas turfeiras situadas na Serra da Canastra, no município de São Roque de Minas, próximo a uma rodovia de estrada de terra, MG-341, (Figura 2) utilizando uma sonda manual tipo Russa. A coleta dos testemunhos foi realizada pela equipe do projeto de pesquisa intitulado “Análise da Evolução do Relevo da área das nascentes do Rio São Francisco na Serra da Canastra e entorno”, coordenado pelo Prof. Dr. Silvio Carlos Rodrigues da Universidade Federal de Uberlândia. O testemunho SCP1 foi coletado nas coordenadas UTM 23K 343615 m E/ 7761385 m S, Datum SIRGAS 2000, em uma turfeira localizada na margem de um córrego (afluente do Rio São Francisco), em uma área caracterizada pela presença de vegetação campestre e ausência de vegetação arbórea. O testemunho SCP1 atingiu a profundidade de 197 cm, e o material coletado

é caracterizado pela presença de solo orgânico em todo o perfil. O testemunho SCP2 foi coletado nas coordenadas UTM 23K 338127 m E/ 7761626 m S, Datum SIRGAS 2000, em uma turfeira localizada na cabeceira de uma drenagem (próxima a Estrada para Cachoeira Rasga Canga) e caracterizada pela presença de um capão de mata, circundado por vegetação campestre. A profundidade atingida foi de 100 cm e o material coletado é semelhante ao SCP1, caracterizado pela presença contínua de solo orgânico.

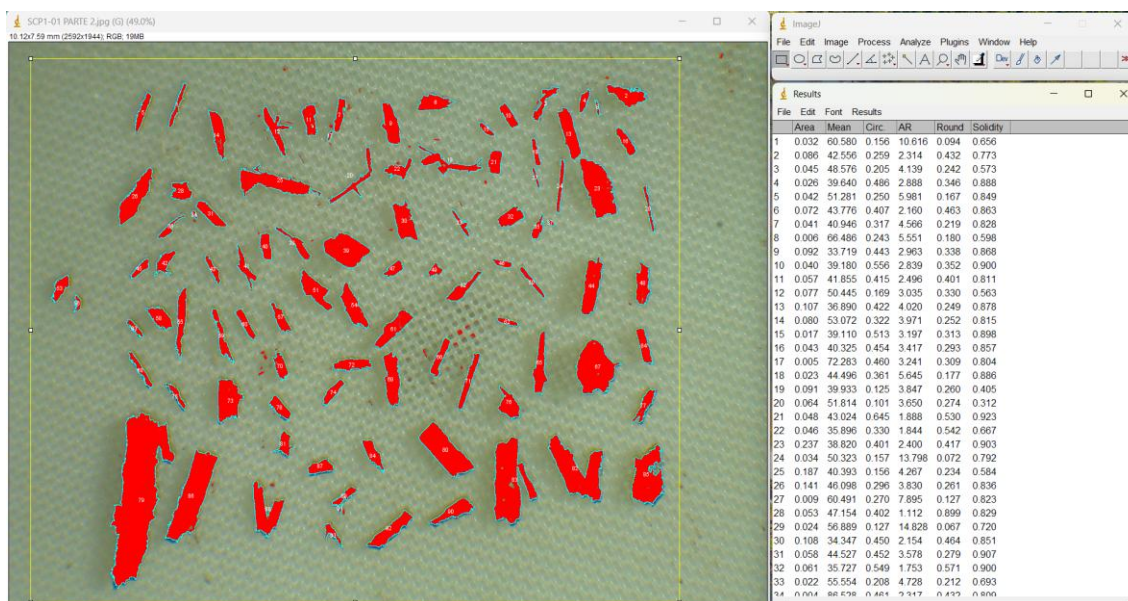
Na presente monografia, foram analisados os 50 centímetros superiores do testemunho sedimentar SCP1, coletado em São Roque de Minas, os quais foram submetidos às análises de macropartículas de carvão vegetal, microplásticos e palinologia. Para o testemunho sedimentar SCP2, foram examinados os 10 centímetros superiores, destinados às análises de macropartículas de carvão vegetal e microplásticos.

4.2 ANÁLISE DE PARTÍCULAS DE CARVÃO E MICROPLÁSTICO

Para a análise de carvão e microplásticos, foram realizadas amostras em intervalos de um centímetro ao longo do testemunho, totalizando 50 amostras. Cada amostra continha 0,5 cm³ de sedimento, o qual foi submetido a tratamento químico com uma solução de hipoclorito de sódio (NaClO) e hidróxido de sódio (NaOH) para promover a digestão da matéria orgânica presente nos sedimentos (HAWTHORNE *et al.*, 2018). A solução foi filtrada em telas de 80 micrômetros, assegurando a retenção dos microplásticos e do carvão mineral, que foram analisados em estereomicroscópio. Cada partícula foi contada, fotografada e analisada quanto à cor, tamanho e formato, utilizando o software ImageJ.

O ImageJ é um programa de processamento de imagem de código aberto e baseado em Java, sendo amplamente utilizado em pesquisas de diversas áreas. Na monografia foi usado para fazer a análise das partículas, o software foi capaz de realizar a identificação, contagem, medição da área, volume e a distribuição das partículas (ABRAMOFF *et al.*, 2004).

Figura 5: A imagem mostra o layout do software ImageJ, onde a esquerda é possível observar a foto que está sendo processada e a direita a tabela com os resultados do processamento.



Fonte: Autoria própria.

4.3 ANÁLISE PALINOLÓGICA

Para a análise palinológica, duas lâminas de pólen foram analisadas, identificadas como SCP1-02 e SCP1-47. Para a análise interpretativa, as duas amostras analisadas foram comparadas aos dados já disponíveis referentes a outras oito amostras do testemunho: SCP1-07, SCP1-12, SCP1-22, SCP1-27, SCP1-32, SCP1-37, SCP1-42, SCP1-47 e SCP1-52.

As amostras foram submetidas ao tratamento químico conforme o protocolo de Salgado-Labouriau (2007), composto por três etapas: eliminação dos ácidos húmicos com hidróxido de potássio (KOH), dissolução dos carbonatos com ácido clorídrico (HCl) e remoção dos silicatos com ácido fluorídrico (HF). O material resultante foi montado em lâminas com gelatina glicerínada e devidamente numerado.

As análises compreenderam duas etapas: qualitativa, referente à identificação morfológica dos palinomorfs, e quantitativa, correspondente à contagem mínima de 300 palinomorfs por lâmina. As lâminas foram examinadas em microscópio óptico Novel BM-2100, e os registros fotográficos foram realizados por meio do software TCapture.

O reconhecimento dos palinomorfos contou com o auxílio do software Pollen Key (BUSH; WENG, 2006) e de literatura especializada, como o Atlas Palinológico (LORENTE *et al.*, 2017), além de artigos científicos.

4.4 TRATAMENTO DOS DADOS

O tratamento dos dados referentes às macropartículas de carvão vegetal e aos microplásticos foi realizado inicialmente no Microsoft Excel, após a obtenção das medições no software ImageJ. Posteriormente, os dados foram exportados para o programa C2, utilizado para análise e visualização de dados ecológicos e paleoecológicos, no qual foram elaborados os gráficos — adotando-se o modelo de silhueta para o carvão vegetal e o modelo de barras para os microplásticos.

No que se refere aos palinomorfos, o processamento seguiu procedimento semelhante: os dados quantitativos foram inicialmente organizados no Microsoft Excel e, em seguida, utilizados no software C2 para a elaboração do diagrama polínico final.

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 PALINOMORFOS

O pólen corresponde a estruturas microscópicas produzidas pelas plantas como parte de seu ciclo reprodutivo (ERNST; ELIAS, 2018). Juntamente com os esporos, constitui o principal objeto de estudo da palinologia, área responsável pela análise desses microfósseis vegetais. Os grãos de pólen variam em tamanho de 10 a 150 micrômetros (BRADLEY, 2015) e são revestidos por uma camada externa quimicamente resistente denominada exina, composta por esporopolenina, uma substância orgânica altamente complexa e quimicamente inerte. As características morfológicas específicas dos grãos, como forma, tamanho, estrutura e número de aberturas, possibilitam a sua identificação taxonômica (PUNT *et al.*, 2007).

Tanto os pólenes quanto os esporos representam uma fase específica no ciclo de vida das plantas, associada à alternância de gerações. Plantas homosporadas produzem esporos haploides por meio de meiose, enquanto plantas heterosporadas originam microesporos (masculinos) e megasporos (femininos). Nas gimnospermas, o esporófito diploide dá origem a cones masculinos (microsporângios que produzem grãos de pólen) e femininos (megasporângios contendo o megagametófito com o óvulo). Já nas angiospermas, o esporófito

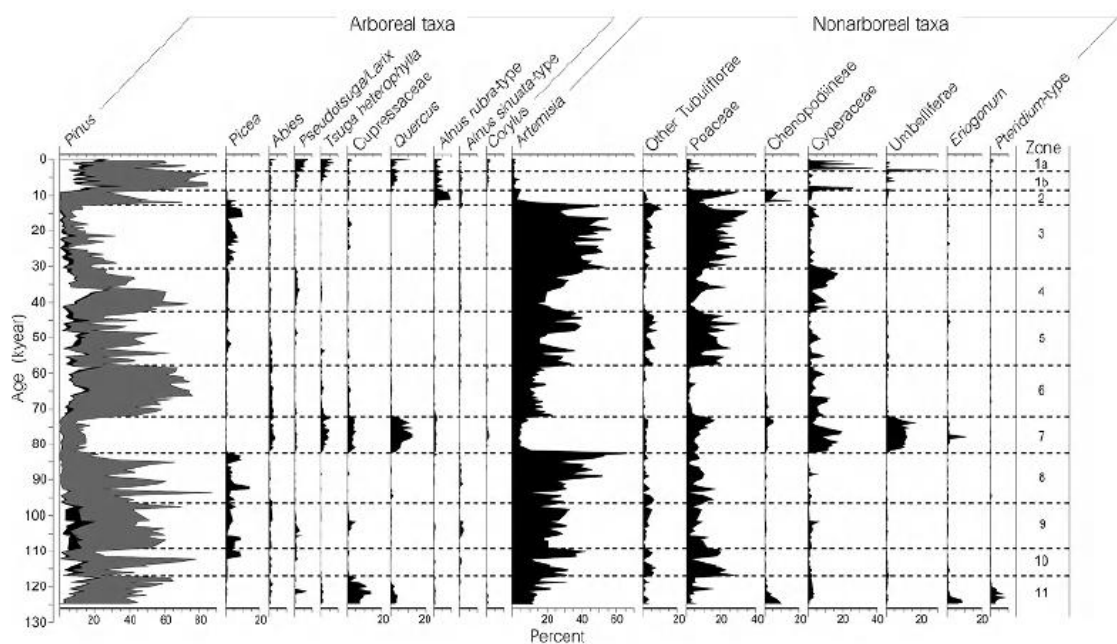
diploide apresenta flores que contêm microsporângios (anteras, que originam o pólen) e megasporângios (óvulos, que originam o saco embrionário).

Plantas com polinização anemófila (dispersão pelo vento) produzem quantidades significativamente maiores de pólen em comparação às espécies entomófilas (polinizadas por insetos) ou autógamas (autopolinizadas) (BRADLEY, 2015). Quando transportado pelo vento, o pólen pode ser considerado um sedimento eólico, embora, na maioria dos casos, seu alcance de dispersão seja limitado pelo tamanho e peso das partículas (TRAVERSE, 1994).

5.1.1 Diagrama polínico

As informações obtidas a partir da análise de pólen são representadas em diagramas polínicos, que indicam a porcentagem relativa dos diferentes táxons ao longo dos intervalos estratigráficos. Esses diagramas são subdivididos em zonas polínicas, o que permite comparações entre diferentes locais. Embora essa subdivisão seja tradicionalmente subjetiva, já existem métodos computacionais que buscam maior objetividade na definição dessas zonas.

Figura 6: Exemplo de diagrama polínico do Lago Carp, Oregon.



Fonte: Williams & Jackson, 2015.

5.1.2 Efeito Fagerlind

Uma limitação importante nesse tipo de análise é conhecida como “Efeito Fagerlind”, que consiste na alteração da representatividade de um táxon devido à variação proporcional de

outros, visto que as porcentagens devem sempre totalizar 100% (PRENTICE & WEBB, 1986). Para mitigar esse efeito, utiliza-se a densidade de fluxo de pólen (influxo), definida como o número de grãos depositados por unidade de área ao longo do tempo. No entanto, essa abordagem depende de estimativas precisas das taxas de sedimentação.

5.1.3 Princípio do Uniformitarismo

O princípio do uniformitarismo é fundamental para a interpretação palinológica, pois parte da premissa de que os processos ecológicos e climáticos atuais podem ser utilizados como referência para interpretar os registros fósseis (BRADLEY, 2015). Os análogos modernos permitem inferir que vegetação e clima do passado eram semelhantes aos de áreas contemporâneas com composição polínica similar (RITCHIE, 1976). Em contrapartida, as situações não-análogas ocorrem quando a assembleia fóssil não apresenta correspondência atual conhecida, sendo esse um desafio para a reconstrução paleoambiental, especialmente em regiões montanhosas, que apresentam vegetação restrita a zonas climáticas específicas. Ainda assim, estudos sobre a “chuva de pólen” têm demonstrado boa capacidade de discriminação em zonas de vegetação.

5.1.4 Mapas polínicos

Mapas polínicos são ferramentas importantes na palinologia e podem conter isopolas (linhas que indicam igual porcentagem de ocorrência de determinado tipo de pólen) (SZAFER, 1935) e isócronas (linhas que indicam simultaneidade temporal). As isopolas são empregadas para mapear padrões geográficos de táxons, sendo que a isopola zero representa o limite de ocorrência da espécie e os picos correspondem à sua máxima representatividade. Já as isócronas permitem acompanhar a migração de táxons ao longo do tempo (ANDERSON *et al.*, 1991).

5.1.5 Tipos funcionais de plantas

O conceito de tipos funcionais de plantas (PFTs) é aplicado para agrupar espécies com exigências ecológicas semelhantes, facilitando a definição de biomas a partir de dados polínicos (CRAMER, 1997; HARRISON *et al.*, 2009). Essa abordagem possibilita análises em larga escala e a calibração de simulações baseadas em Modelos de Circulação Global (MCG).

5.1.6 Resposta da vegetação

A resposta da vegetação às mudanças climáticas pode variar significativamente. Alguns modelos sugerem que tais mudanças ocorrem em escalas de 100 a 150 anos, devido à inércia ecológica das comunidades (DAVIS; BOTKIN, 1985). No entanto, estudos realizados em áreas de relevo elevado indicam que essa resposta pode ser mais rápida, ocorrendo em aproximadamente 10 anos (AMMANN *et al.*, 2000; TINNER; LOTTER, 2001). A concepção de que os ecossistemas migrariam como unidades coesas tem sido questionada, uma vez que diferentes táxons respondem de forma individualizada às pressões ambientais, podendo resultar em formações vegetacionais sem análogos modernos. Além disso, novas comunidades podem surgir em resposta ao aquecimento global.

5.1.7 Estudos paleoclimáticos

Em estudos paleoclimáticos, são preferencialmente utilizadas espécies arbóreas e não-arbóreas amplamente distribuídas, sendo geralmente excluídas aquelas restritas a ambientes úmidos locais. A calibração desses dados para fins de reconstrução paleoclimática é realizada com base em assembleias de pólen superficiais. Contudo, limitações impostas por assembleias não-análogas e pela interferência antrópica podem introduzir ruídos significativos nas estimativas.

5.2 CARVÃO VEGETAL

O carvão vegetal é um material carbonáceo resultante do aquecimento da biomassa durante processos de combustão incompleta (JONES; MUTHURI, 1997). Pode ser classificado em duas categorias conforme o tamanho das partículas: carvão macroscópico ($\geq 100 \mu\text{m}$) e carvão microscópico ($< 100 \mu\text{m}$) (WHITLOCK; LARSEN, 2002). Este material representa um importante agente de perturbação ambiental, pois influencia diretamente os ecossistemas e atua como catalisador de mudanças na vegetação. Seu registro em sedimentos permite inferir os efeitos dos regimes de fogo sobre o ambiente, especialmente em resposta a mudanças climáticas e ações antrópicas.

O termo carvão é utilizado de forma ampla para descrever os produtos carbonáceos gerados em diferentes faixas de temperatura durante o fogo, sendo originado principalmente por duas vias: carvão propriamente dito e fuligem, ambos formados durante a combustão incompleta. Essas substâncias apresentam propriedades físico-químicas distintas (HAN *et al.*, 2010; MASIELLO, 2004), especialmente em relação ao tamanho das partículas. A fuligem é

predominantemente nanométrica (QUÉNÉA *et al.*, 2006), podendo ser transportada por milhares de quilômetros por circulação atmosférica. Já o carvão vegetal apresenta ampla variação de tamanho, desde micrômetros (ODGAARD, 1992) até centímetros (BÉLANGER *et al.*, 2014), sendo o seu transporte limitado pela razão peso/superfície das partículas.

A identificação das partículas de carvão em sedimentos baseia-se em características morfológicas específicas, como coloração escura e brilhante, formas geométricas definidas e fragilidade sob baixa pressão. A análise dessas propriedades morfológicas tem se mostrado uma técnica promissora na diferenciação dos tipos de combustíveis vegetais presentes em registros de paleofogo. Um método amplamente utilizado para essa distinção é a análise da razão comprimento/largura (C/L) das partículas (VACHULA *et al.*, 2021):

- Valores de C/L maiores que aproximadamente 3,5 indicam gramíneas e combustíveis não-lenhosos (VACHULA *et al.*, 2021).
- Valores de C/L menores que aproximadamente 2,5 indicam que o carvão provem de fontes lenhosas (VACHULA *et al.*, 2021).

A quantificação das partículas de carvão, tanto macroscópicas quanto microscópicas, constitui uma ferramenta eficaz para a investigação da atividade de queima de biomassa. Através da análise da taxa de acumulação de carvão (CHAR) e do intervalo de recorrência do fogo (FRI), é possível reconstruir padrões de ocorrência de incêndios ao longo do tempo.

Estudos paleoambientais baseados na análise do carvão sedimentar, em associação com pólen e outros indicadores paleoecológicos, fornecem subsídios valiosos para a reconstituição da história ambiental. Em especial, permitem a compreensão da frequência e intensidade de incêndios, das alterações nos tipos de combustíveis vegetais ao longo do tempo e das interações entre clima, vegetação e atividade antrópica. O carvão preservado em depósitos sedimentares, portanto, constitui um registro fundamental para a interpretação da dinâmica do fogo nos ecossistemas pretéritos.

5.3 MICROPLÁSTICOS

Os microplásticos (MPs) são partículas sintéticas derivadas de polímeros plásticos, geralmente definidas como tendo dimensões inferiores a 5 milímetros (mm) (HARTMANN *et al.*, 2019; KHAN *et al.*, 2022; PROVENCHER *et al.*, 2017; SYBERG *et al.*, 2015). No entanto, ainda não há uma padronização universal quanto à sua classificação por tamanho. Algumas fontes os descrevem como variando entre 1 micrômetro (μm) e 5 mm (FRIAS *et al.*, 2019),

sendo que subdivisões também são propostas: microplásticos pequenos (menores que 1 mm) e microplásticos grandes (entre 1 e 5 mm). O termo "microplástico" foi introduzido em 2004 para descrever detritos plásticos microscópicos encontrados em ambientes marinhos, especialmente na faixa de 20 μm (THOMPSON *et al.*, 2004).

Pesquisas recentes propõem uma categorização mais detalhada baseada no tamanho das partículas plásticas (ANDRADY, 2017):

- Macroplásticos: > 25 mm
- Mesoplásticos: 5 – 25 mm
- Microplásticos: 1 – 5000 μm
- Nanoplásticos: < 1 μm

Os microplásticos podem ser classificados em duas categorias principais (ANDRADY, 2017; BANCONE *et al.*, 2020) conforme sua origem:

- Microplásticos primários: partículas produzidas intencionalmente em escala industrial já com tamanho reduzido, como o glitter e os microgrânulos presentes em produtos cosméticos e esfoliantes faciais.
- Microplásticos secundários: formados a partir da degradação de plásticos maiores, por meio de processos como fotodegradação, intemperismo, abrasão mecânica e ação microbiológica. Um exemplo comum é a liberação de fibras sintéticas por peças de vestuário, que podem liberar cerca de 2.000 fibras por lavagem.

Esses materiais são totalmente sintéticos, não possuindo qualquer origem natural ou geogênica. Devido à sua elevada estabilidade química, atribuída à presença de cadeias poliméricas de alto peso molecular, os microplásticos apresentam um tempo de residência prolongado no ambiente, podendo ser preservados nos sedimentos por séculos. Tal persistência é intensificada em condições de baixa exposição à radiação ultravioleta (UV), oxigênio e agentes degradantes (ZALASIEWICZ *et al.*, 2016; BERGMANN *et al.*, 2017).

A presença de microplásticos em ecossistemas aquáticos e sedimentares levanta sérias preocupações ambientais. Esses contaminantes podem causar diversos efeitos adversos em organismos, incluindo:

- Toxicidade química, relacionada à composição e à presença de aditivos ou contaminantes adsorvidos;
- Redução da atividade alimentar;
- Bioacumulação de poluentes associados;
- Depleção energética após ingestão;
- Citotoxicidade, caracterizada pela indução de danos ou morte celular (SCHIRINZI *et al.*, 2017).

A ampla distribuição e persistência dos microplásticos os tornam potenciais marcadores estratigráficos (WEBER *et al.*, 2021) em sedimentos recentes, especialmente em ambientes fluviais. A análise dessas partículas pode ser feita com base em suas características físicas, como:

- Formato: fibras, fragmentos, filamentos, esferas, espumas;
- Cor: azul, vermelho, verde, entre outras;
- Tipo de polímero.

Os polímeros mais comumente identificados em amostras ambientais incluem: policloreto de vinila (PVC), polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), tereftalato de polietileno (PET), nylon e policarbonato (PC), além de materiais não identificados.

As fontes de contaminação por microplásticos são múltiplas e incluem atividades industriais, escoamento urbano, resíduos domésticos, uso agrícola e resíduos eletrônicos (CHINH *et al.*, 2021; NGUYEN *et al.*, 2022). A produção global de plásticos ultrapassa atualmente 350 milhões de toneladas por ano, com tendência de crescimento contínuo nas próximas décadas (PLASTICSEUROPE, 2019). Fatores como densidade populacional, uso da terra e transporte atmosférico também influenciam diretamente na dispersão dos microplásticos, inclusive em áreas remotas e ecossistemas isolados.

Atualmente, os microplásticos são considerados um dos indicadores mais relevantes da influência antrópica nos ambientes naturais (FENG *et al.*, 2020), representando um importante parâmetro para o monitoramento ambiental. Seu acúmulo em diferentes matrizes ambientais (água, solo, sedimentos, biota) tem impulsionado pesquisas voltadas à compreensão dos riscos ecológicos associados e ao desenvolvimento de estratégias eficazes para mitigação e controle da contaminação.

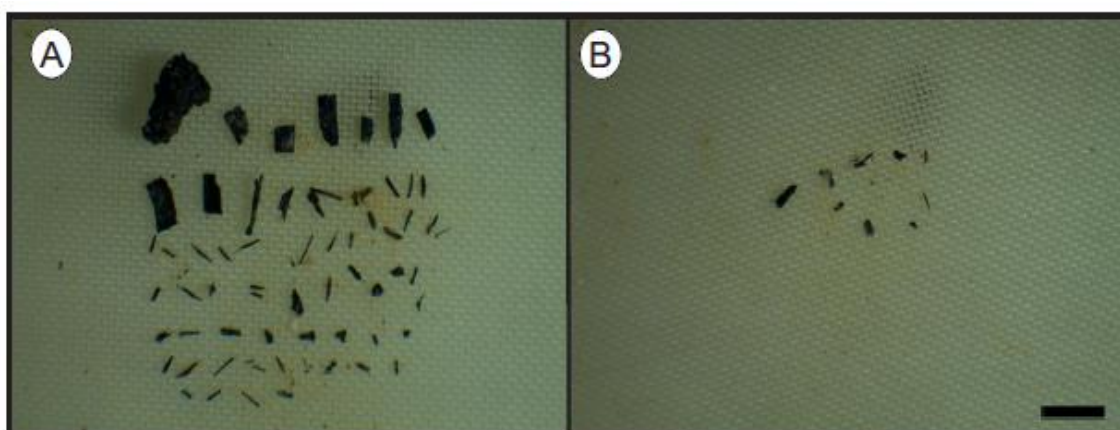
6 RESULTADOS

6.1 CARVÃO

A partir da análise das partículas de carvão nos 50 cm superiores do testemunho SCP1, foram obtidos, os seguintes dados: concentração de partículas de carvão em número de partículas/cm³, concentração em área de carvão/cm³, e C/L médio. Das 50 amostras analisadas, 33 amostras continham partículas de carvão. A concentração de partículas de carvão variou entre 0 e 724 partículas/cm³. Já a concentração em área de carvão variou entre 0 e 33,846 mm² de carvão/cm³. O C/L médio variou entre 1,51 e 10,35, sendo que valores de C/L maiores indicam partículas mais alongadas e valores de C/L menores caracterizam partículas mais arredondadas.

O gráfico de distribuição das partículas de carvão ao longo do testemunho SCP1 (Gráfico 1), indica uma significativa discrepância na concentração de partículas de carvão por centímetro cúbico entre o topo e as demais porções do testemunho, sugerindo duas fases na deposição de partículas de carvão. O primeiro bloco abrange o intervalo entre 50 e 7 cm. Conforme observado no Gráfico 1, os valores apresentam comportamento praticamente linear nessa escala, com variações sutis. O Quadro 1 confirma o aumento abrupto na transição entre os blocos: enquanto no sétimo centímetro, final do primeiro bloco, o valor é de 30 partículas por centímetro cúbico, no sexto centímetro, a concentração registrada aumenta para 120 partículas por centímetro cúbico. As partículas encontradas nesses centímetros podem ser vistas na Figura 7.

Figura 7: Na imagem A pode ser observada as partículas de carvão presentes no SCP1-06 e na imagem B pode ser observada as partículas no SCP1-07. Escala = 500 µm.

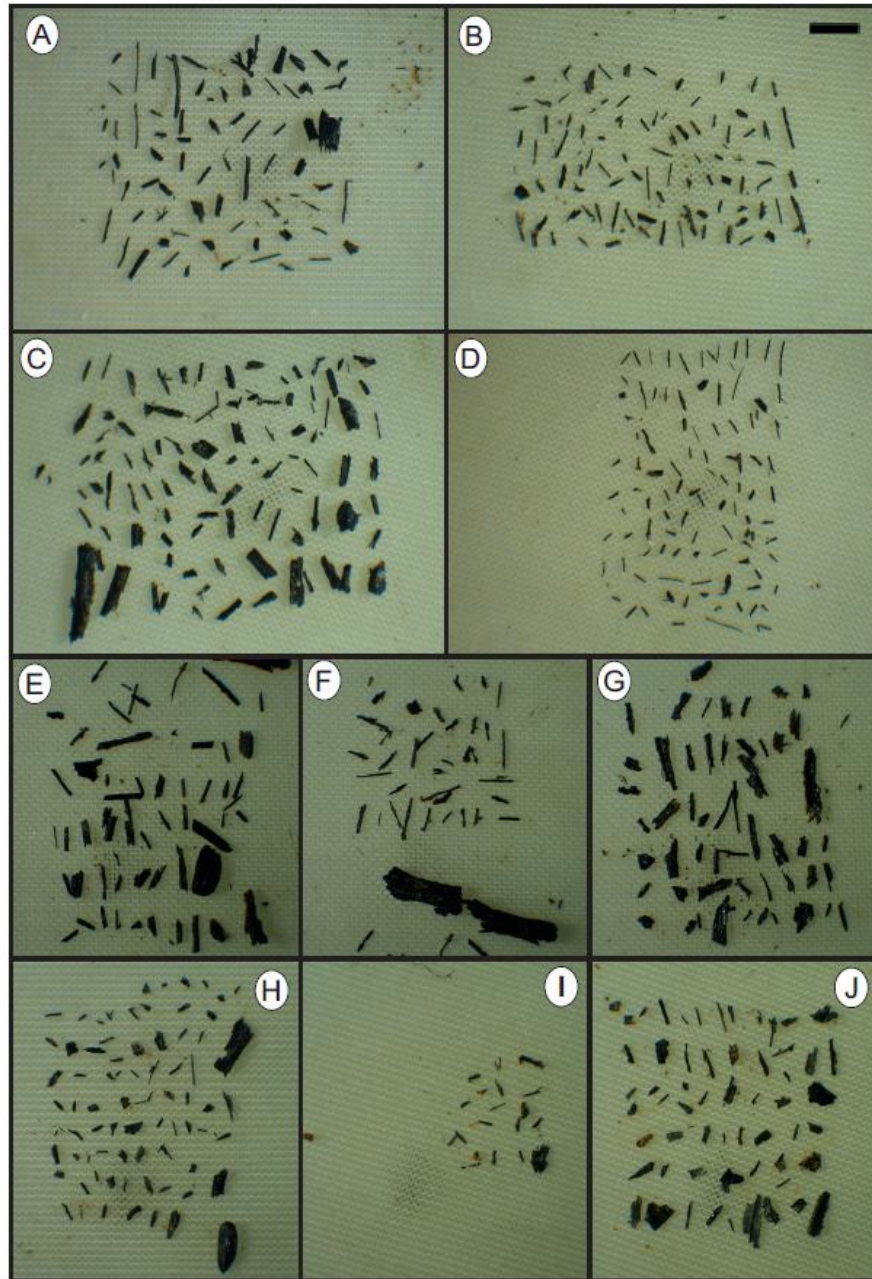


Fonte: Autoria própria.

O segundo bloco compreende o intervalo entre 6 e 1 cm, no qual se observa elevada concentração de carvão vegetal como poder ser observado na Figura 8. Verifica-se uma

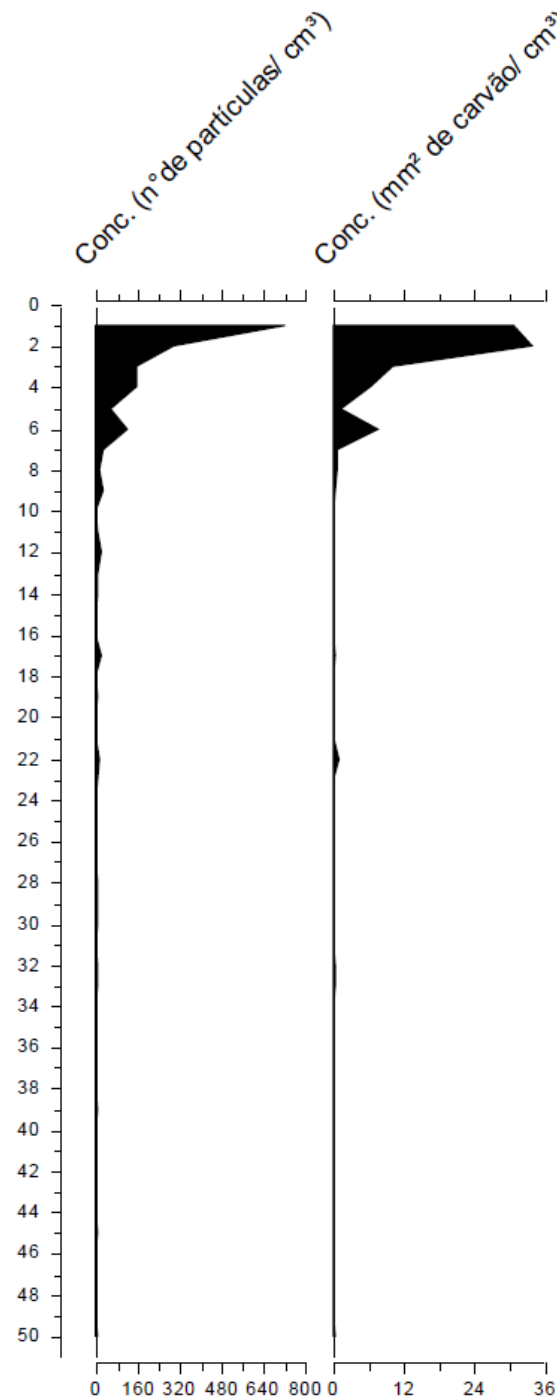
tendência crescente do sexto ao primeiro centímetro. Entre o terceiro e o segundo centímetro, nota-se um aumento significativo, correspondente a aproximadamente o dobro da concentração. No topo do perfil, a concentração mais que duplica, atingindo 724 partículas por centímetro cúbico, conforme apresentado no Quadro 1.

Figura 8: Mosaico de imagens mostrando as partículas de carvão encontradas. As imagens de A até D representam as partículas de carvão encontradas no SCP1-01, as imagens de E até G representam as partículas de carvão no SCP1-02, as imagens H e I representam as partículas encontradas no SCP1-03 e a imagem J representa as partículas encontradas no SCP1-04. Escala = 500 μm .



Fonte: Autoria própria.

Gráfico 1: Gráfico referente ao testemunho de sondagem SCP1 mostrando as concentrações de carvão vegetal presentes em 1 cm³ ao longo dos seus 50 cm superiores.



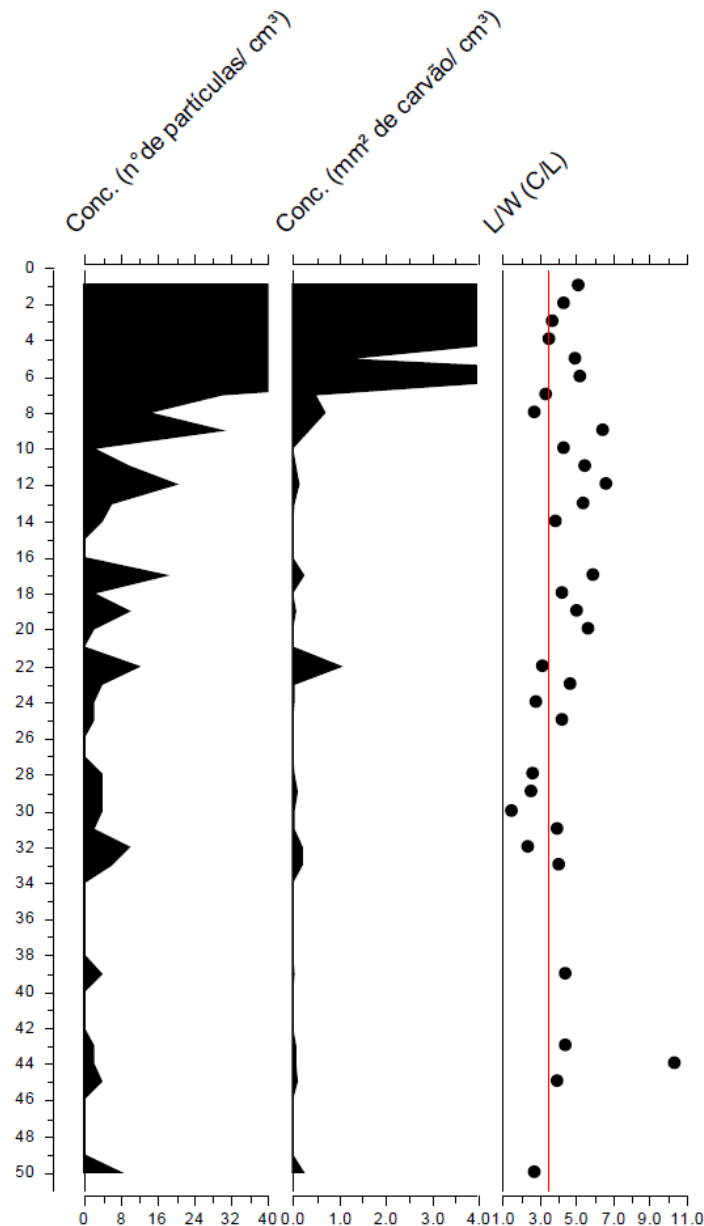
Fonte: Autoria própria.

Quadro 1: Quadro mostrando as concentrações de carvão a cada centímetro e a razão comprimento/largura.

AMOSTRA	CONC. (Nº DE PART/ CM³)	CONC. (MM² DE CARVÃO/ CM³)	L/W (C/L)
SCP1-01	724	30,482	5,124312

SCP1-02	300	33,846	4,392064
SCP1-03	156	9,954	3,743124
SCP1-04	154	6,278	3,591013
SCP1-05	58	1,166	4,948793
SCP1-06	120	7,484	5,232517
SCP1-07	30	0,48	3,413444
SCP1-08	14	0,7	2,758143
SCP1-09	30	0,358	6,514933
SCP1-10	2	0,006	4,364
SCP1-11	10	0,074	5,5546
SCP1-12	20	0,15	6,6875
SCP1-13	6	0,042	5,460667
SCP1-14	4	0,014	3,9085
SCP1-15	0	0	0
SCP1-16	0	0	0
SCP1-17	18	0,244	5,955333
SCP1-18	2	0,012	4,273
SCP1-19	10	0,066	5,0822
SCP1-20	2	0,008	5,679
SCP1-21	0	0	0
SCP1-22	12	1,07	3,196667
SCP1-23	4	0,026	4,748
SCP1-24	2	0,05	2,86
SCP1-25	2	0,01	4,247
SCP1-26	0	0	0
SCP1-27	0	0	0
SCP1-28	4	0,024	2,7035
SCP1-29	4	0,088	2,632
SCP1-30	4	0,046	1,5105
SCP1-31	2	0,018	4,039
SCP1-32	10	0,2	2,4498
SCP1-33	6	0,196	4,054
SCP1-34	0	0	0
SCP1-35	0	0	0
SCP1-36	0	0	0
SCP1-37	0	0	0
SCP1-38	0	0	0
SCP1-39	4	0,048	4,461
SCP1-40	0	0	0
SCP1-41	0	0	0
SCP1-42	0	0	0
SCP1-43	2	0,084	4,482
SCP1-44	2	0,07	10,348
SCP1-45	4	0,088	4,037
SCP1-46	0	0	0
SCP1-47	0	0	0
SCP1-48	0	0	0
SCP1-49	0	0	0
SCP1-50	8	0,234	2,77

Gráfico 2: Gráfico referente ao testemunho de sondagem SCP1 mostrando as concentrações de carvão vegetal presentes em 1 cm^3 ao longo dos seus 50 cm superiores, com uma ampliação no eixo X para melhor visualização. A terceira coluna do gráfico apresenta os valores da razão largura/comprimento (C/L).



Fonte: Autoria própria.

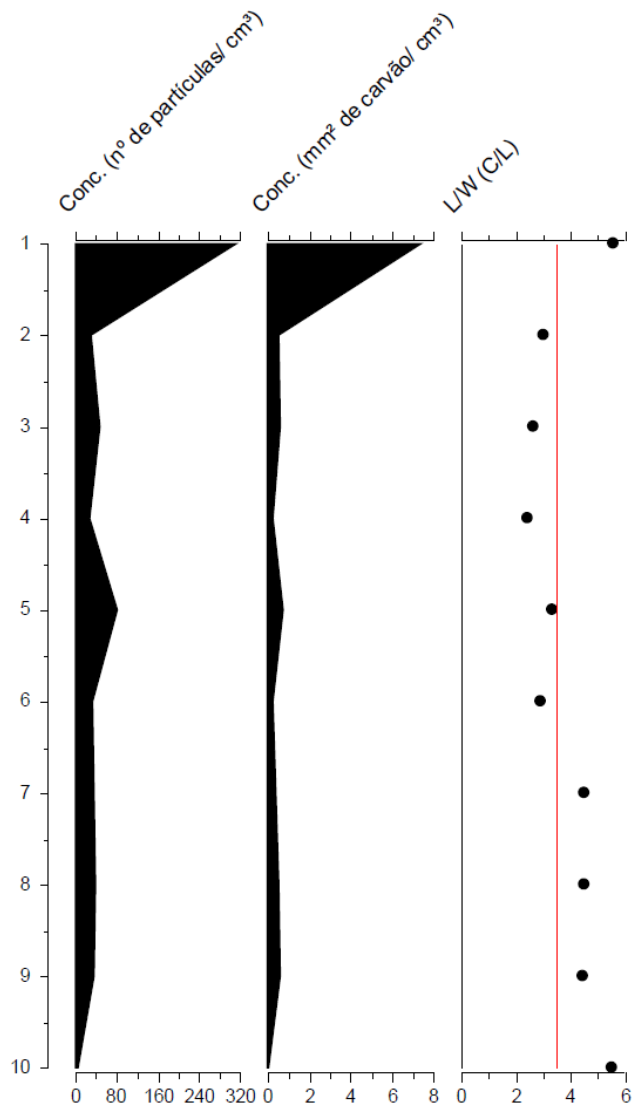
No Gráfico 2, a escala do eixo x foi estendida, a fim de possibilitar uma análise mais detalhada das amostras entre 50 e 7 cm. Neste gráfico, também foram acrescentados os dados de C/L médio para cada amostra, o que permite identificar a origem do material proveniente da combustão. Quando essa razão é superior a 3,5, a origem do combustível é classificada como herbácea; quando inferior a esse valor, é considerada lenhosa (VACHULA *et al.*, 2021). No bloco do topo do testemunho, entre 6 e 1 cm de profundidade, observa-se predominância de material de origem herbácea.

Com a ampliação da escala, no Gráfico 2 observa-se que o intervalo entre 50 e 7 cm pode ser subdividido em duas partes. A primeira parte abrange o intervalo entre 50 e 34 cm. Esse trecho é caracterizado por hiatos, nos quais não há registro de partículas de carvão, intercalados por pequenos picos de ocorrência. A origem do material resultante da combustão é majoritariamente herbácea nesses picos, com exceção do centímetro 50, no qual se observa origem lenhosa. A segunda parte compreende o intervalo entre 33 e 7 cm, nos quais se verifica um aumento gradual na concentração do número de partículas de carvão. Nesse trecho, o combustível é predominantemente herbáceo; contudo, entre os centímetros 22 e 32, observa-se maior destaque para o combustível de origem lenhosa.

A comparação entre as curvas de concentração por partículas e por área de carvão permite fazer observações sobre a distância dos eventos de fogos em relação à turfeira. Na maior parte dos picos de carvão observados entre 50 e 7 cm, os picos de concentração por partícula não apresentam uma correspondência equivalente no gráfico de concentração por área de carvão. Esse padrão indica se tratar de partículas de pequenas dimensões, o que sugere ocorrência de fogos mais distantes da turfeira. Por outro lado, no pico de carvão de 22 cm e nos picos dos 6 centímetros superiores, há um aumento correspondente nos valores de concentração por área de carvão, o que indica que as partículas encontradas nestas amostras são de dimensões maiores, o que sugere a ocorrência de eventos de fogos mais próximos à turfeira.

No Gráfico 3, é apresentada a análise dos 10 centímetros superiores do testemunho sedimentar SCP2. Observa-se maior concentração de carvão apenas no primeiro centímetro do testemunho, atingindo 314 partículas por centímetro cúbico, conforme indicado no Quadro 2. A origem do material de combustão nos centímetros analisados é metade herbácea e metade lenhoso.

Gráfico 3: Gráfico referente ao testemunho de sondagem SCP2 mostrando as concentrações de carvão vegetal presentes em 1 cm³ ao longo dos seus 10 cm superiores. A terceira coluna do gráfico apresenta os valores da razão comprimento do grão e a sua largura.



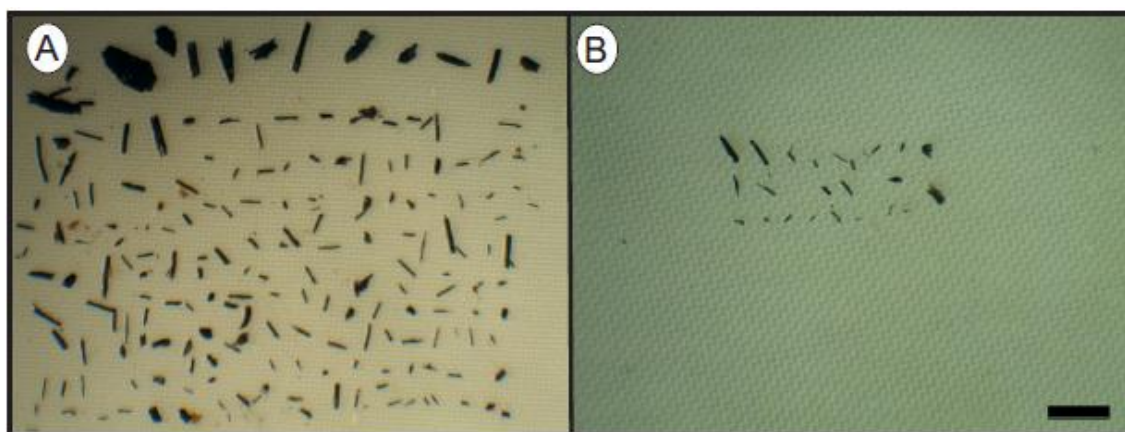
Fonte: Autoria própria.

Quadro 2: Quadro mostrando as concentrações de carvão a cada centímetro e a razão comprimento/largura.

AMOSTRA	CONC. (Nº DE PART/ CM³)	CONC. (MM² DE CARVÃO/ CM³)	L/W (C/L)
SCP2-01	314	7,428	5,568127
SCP2-02	32	0,556	3,0345
SCP2-03	48	0,606	2,637292
SCP2-04	28	0,274	2,437071
SCP2-05	82	0,746	3,345634
SCP2-06	34	0,304	2,924882
SCP1-07	36	0,394	4,535222
SCP2-08	40	0,56	4,5398
SCP2-09	38	0,63	4,443895
SCP2-10	6	0,066	5,497333

No décimo centímetro, observa-se apenas 6 partículas de carvão por centímetro cúbico. A partir do nono centímetro, verifica-se um leve aumento nas concentrações, que se mantêm relativamente constantes até o segundo centímetro. Na Figura 9 pode-se observar as partículas de carvão encontradas no testemunho sedimentar.

Figura 9: Na imagem A pode ser observada as partículas de carvão em SCP2-01 e na imagem B poder ser observada as partículas em SCP2-09. Escala = 500 μ m.



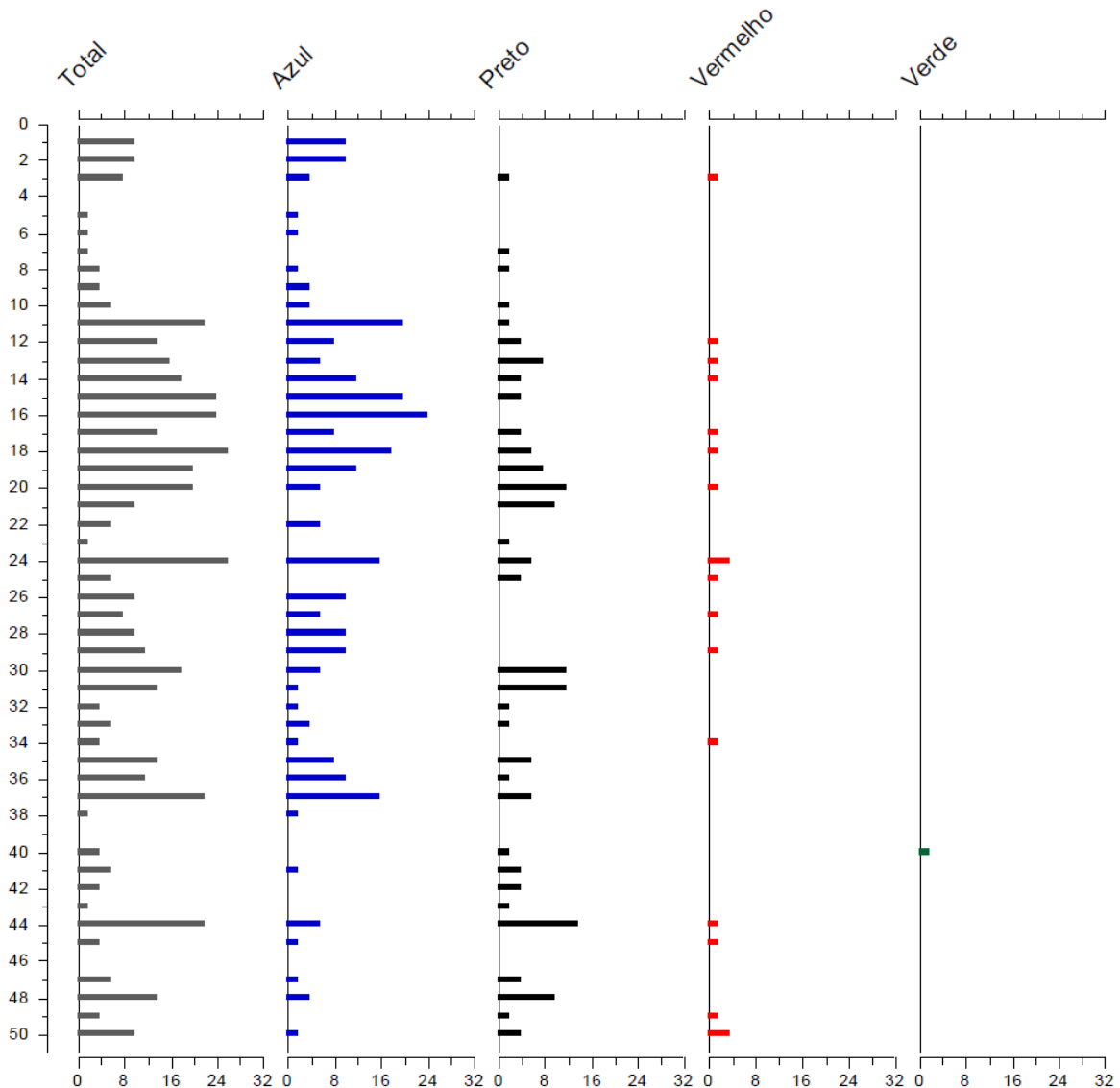
Fonte: Autoria própria.

Quanto à origem do material, o carvão apresenta predominância de fragmentos lenhosos entre os centímetros 6 e 2, enquanto, do décimo ao sétimo centímetro, predomina a fração de origem herbácea.

6.2 MICROPLÁSTICO

No Gráfico 4, é possível observar as concentrações de partículas de microplástico por centímetro cúbico no testemunho sedimentar SCP1. As partículas identificadas apresentam, majoritariamente, formato de filamentos. Esses filamentos foram registrados em quatro cores distintas: azul, preto, vermelho e verde. A cor mais frequente foi a azul, enquanto a menos frequente foi a verde, registrada apenas no centímetro 40 do testemunho.

Gráfico 4: A imagem mostra um gráfico com um conjunto de colunas representando a quantidade total de microplásticos encontrados nos 50 centímetros superiores do testemunho SCP1 e a quantidade total de cada cor.



Fonte: Autoria própria.

Para fins de análise, o gráfico pode ser subdividido em três blocos distintos.

O primeiro bloco compreende os intervalos entre 1 e 10 cm e apresenta baixa concentração de filamentos, com tendência geral de diminuição seguido por um aumento ao longo do intervalo.

O segundo bloco abrange os intervalos entre 11 e 37 cm e apresenta concentrações significativamente superiores às do bloco anterior. Nesse trecho, observa-se um padrão caracterizado por aumento da concentração, seguido de diminuição e, posteriormente, novo aumento.

O terceiro bloco corresponde aos intervalos entre 38 e 50 cm e apresenta redução na concentração de filamentos em comparação ao bloco anterior. Nesse intervalo, não se identifica um padrão definido, sendo observado um pico de concentração no centímetro 44 e ausência de filamentos nos centímetros 39 e 46.

Na Figura 10 é possível ver alguns tipos de filamentos encontrados no testemunho sedimentar SCP1.

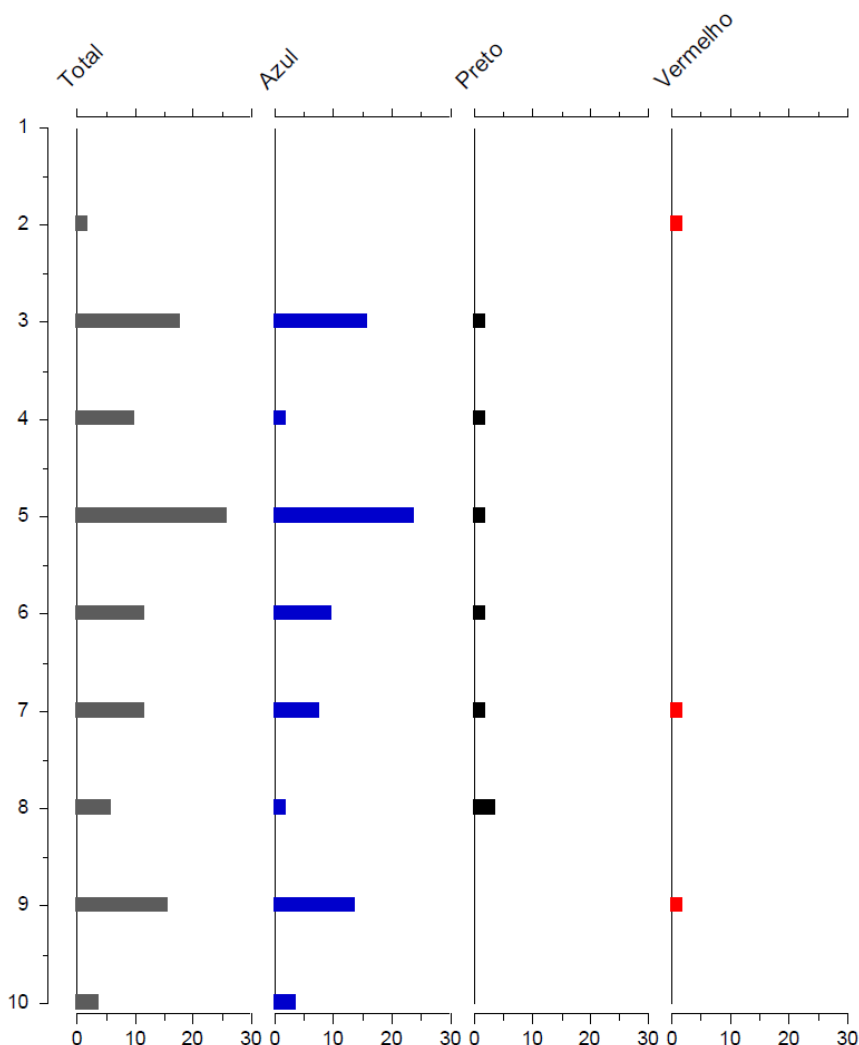
Figura 10: Na imagem A é possível observar os filamentos encontrados em SCP1-01, em B é possível observar os filamentos encontrados em SCP1-11, em C os filamentos em SCP1-17 e em D os filamentos encontrados em SCP1-44. Nas imagens nota-se também a predominância de filamentos na coloração azul. Escala = 500 μ m.



Fonte: Autoria própria.

No Gráfico 5, é possível observar as concentrações de partículas de microplástico por centímetro cúbico nos 10 centímetros do testemunho sedimentar SCP2. As partículas identificadas apresentam, majoritariamente, formato de filamentos. Esses filamentos foram registrados em três cores distintas: azul, preto e vermelho. A cor mais frequente foi a azul, enquanto a menos frequente foi a vermelha.

Gráfico 5: A imagem mostra um gráfico com um conjunto de colunas representando a quantidade total de microplásticos encontrados nos 10 centímetros superiores do testemunho SCP2 e a quantidade total de cada cor.



Fonte: Autoria própria.

Por se tratar de um intervalo restrito a apenas 10 centímetros, optou-se por não subdividir o gráfico em blocos para fins de análise. Não foram observadas partículas de microplástico no primeiro centímetro do testemunho; contudo, nos centímetros subsequentes, verifica-se leve variação na concentração, com oscilações caracterizadas por aumentos e diminuições sucessivas.

Observa-se um pico de concentração no centímetro 5. Devido à limitação do intervalo analisado, torna-se mais difícil identificar padrões bem definidos; ainda assim, nota-se uma tendência geral de aumento do primeiro até o quinto centímetro.

Na Figura 11 é possível observar alguns tipos de filamentos encontrados no testemunho sedimentar SCP2.

Figura 11: Na imagem A é possível observar os filamentos encontrados em SCP2-03, em B é possível observar os filamentos encontrados em SCP2-05 e em C os filamentos em SCP2-09. Nas imagens nota-se também a predominância de filamentos na coloração azul. Escala = 500 μm .



Fonte: Autoria própria.

6.3 PALINOLOGIA

Nas duas amostras analisadas (SCP1-02 e SCP1-47), foram encontrados 26 tipos polínicos. A seguir, apresenta-se a descrição morfológica dos tipos polínicos encontrados, juntamente com a descrição dos dados ecológicos das plantas produtoras. Além dos tipos polínicos encontrados nas duas amostras analisadas, são também apresentados os dados ecológicos dos táxons presentes nas demais amostras utilizadas na interpretação dos resultados.

Ressalta-se, ainda, que não foram realizadas medições das dimensões dos grãos de pólen, em razão da ausência da instrumentação necessária. Pelo mesmo motivo, as imagens obtidas não apresentam escala.

Descrição dos palinomorfos

Classe Monocotiledôneas (Liliopsida)

Ordem Alismatales

Família Alismataceae

Gênero *Echinodorus*

Echinodorus

Hábito da planta: Aquática

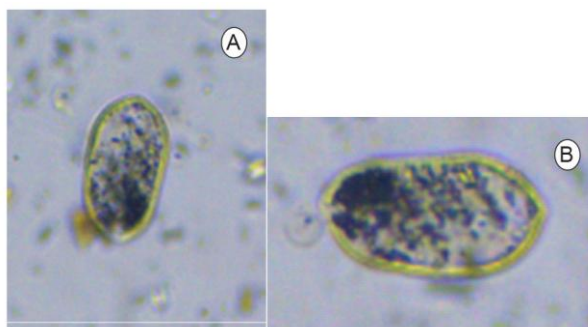
Dados ecológicos: A família Alismataceae é amplamente distribuída nas regiões tropicais da América do Sul, possuindo vasta ocorrência em todo o território brasileiro (LEHTONEN, 2008). Os principais representantes do gênero *Echinodorus* (conhecido popularmente como chapéu-de-couro) no Cerrado são as espécies *E. floribundus*, *E. subalatus* e *E. grandiflorus* (MENDONÇA *et al.*, 2008). De acordo com Haynes & Holm-Nielsen (1986), o chapéu-de-couro é composto por plantas herbáceas que atuam como macrófitas emergentes ou anfíbias presentes em margens de corpos d'água; Lehtonen (2008) indica também a presença do gênero em lagoas temporais, depressões úmidas, savanas e planícies inundadas.

Ordem Arecales

Família Arecaceae

Arecaceae

Figura 12: Imagem de um grão de pólen de Arecaceae. Imagem sem escala. Vista polar em A e B.



Descrição: Grão de pólen mônade, bilateralmente simétrico, heteropolar, âmbito elíptico, oblato, monosulcado. Sexina mais espessa que a nexina.

Referências: BUSH & WENG, (2006).

Hábito da planta: Arbustivo/ Arbóreo

Dados ecológicos: A família Arecaceae é amplamente distribuída em regiões tropicais a subtropicais (JUDD *et al.*, 2009). Os principais gêneros de Arecaceae do Cerrado são, além de *Butia*, *Astrocaryum*, *Attalea*, *Syagrus* e *Acrocomia* (MENDONÇA *et al.*, 2008). De acordo com Goodland & Ferri (1979), a maioria das palmeiras do Cerrado são vegetais xeromorfos baixos presentes no Campo Sujo e no Campo Cerrado; Mendonça *et al.* (2008) indicam também a presença de vários gêneros em Matas de Galeria e no Cerradão. De acordo com Santana *et al.*

(2011), espécies como *Syagrus flexuosa*, *Syagrus coccoides*, *Syagrus romanzoffiana* e *Euterpe edulis* são comuns.

Ordem Poales

Família Cyperaceae

Cyperaceae

Descrição: Grão de pólen mônade, médio, radiossimétrico, heteropolar, âmbito triangular de lados convexos, prolato a prolato-esferoidal (pólo distal alargado e pólo proximal cônico), a abertura é constituída por um poróide localizado no pólo distal e/ou por sulcos irregulares na região equatorial. Sexina psilada a escabrada.

Referências: SALGADO-LABOURIAU, (1973).

Hábito de vida: Herbácea

Dados ecológicos: As Ciperáceas são plantas de hábito herbáceo de distribuição cosmopolita, mas ocupam preferencialmente locais encharcados (JUDD *et al.*, 2009). As Ciperáceas são abundantes no Cerrado, e de acordo com Goodland & Ferri (1979), mais abundantes no Campo Sujo e no Campo Cerrado do que no Cerradão. Na Serra da Canastra as ciperáceas constituem a flora atual da região, de acordo com Santana *et al.* (2011) são comumente encontradas em áreas de Campo Rupestre, onde as condições ambientais favorecem a ocorrência de monocotiledôneas.

Família Eriocaulaceae

Eriocaulaceae

Hábito de vida: Herbácea

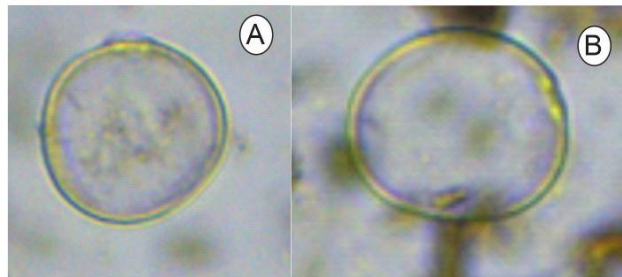
Dados ecológicos: A família Eriocaulaceae, conhecida como sempre-vivas, apresenta sua maior diversidade no Sudeste brasileiro (GIULIETTI & HENSOLD 1990). Na Serra da Canastra destaca-se a presença de *Paepalanthus*, *Comanthera*, *Syngonanthus*, *Actinocephalus*, *Eriocaulon* e *Leiosthrix* (SANTANA *et al.*, 2011). Foram registradas 27 espécies que se concentram predominantemente em afloramento rochosos e neossolos arenosos localizados nas bordas de serras e chapadões (SANTANA *et al.*, 2011). De acordo com Oliveira *et al.* (2019), registros polínicos do Quaternário associam a Eriocaulaceae a formações campestres adaptadas

a condições de clima frio e úmido, servindo como indicadores de mudanças climáticas pretéritas no bioma.

Família Poaceae

Poaceae

Figura 13: Imagem de um grão de pólen de Poaceae. Imagem sem escala. Vista equatorial em A e B.



Descrição: Grão de pólen mônade, radiossimétrico, heteropolar, âmbito circular, esférico, monoporado, com presença de ânulo. Sexina da mesma espessura que a nexina. Sexina psilada.

Referências: SALGADO-LABOURIAI, (1973).

Hábito de vida: Herbácea

Dados ecológicos: A Família Poaceae é um importante componente da vegetação do Cerrado, é especialmente abundante no Campo Sujo e no Campo Cerrado (GOODLAND & FERREI, 1979). Na Serra da Canastra, um inventário das espécies vegetais registrou a ocorrência de 70 espécies de gramíneas, distribuídas por diversos pontos de amostragem da unidade de conservação (SANTANA *et al.*, 2011). Entre os gêneros mais representativos na região encontram-se *Andropogon*, *Axonopus*, *Paspalum*, *Panicum* e *Ichnanthus*, com a espécie *Ichnanthus pallens* apresentando uma das maiores densidades registradas no levantamento (SANTANA *et al.*, 2011).

Família Xyridaceae

Gênero *Xyris*

Xyris

Figura 14: Imagem de um grão de pólen de *Xyris*. Imagem sem escala. Vista equatorial em A - C.



Descrição: Grão de pólen mônade, bilateralmente simétrico, heteropolar, âmbito retangular, disulcado. Sexina e nexina aproximadamente da mesma espessura. Sexina granulada.

Referências: RULL, (2003).

Hábito de vida: Herbácea

Dados ecológicos: As espécies do gênero *Xyris* são características de zonas úmidas de regiões tropicais e subtropicais (JUDD *et al.*, 2009). Cento e seis espécies de *Xyris* foram descritas para o Cerrado (MENDONÇA *et al.*, 2008), a maioria delas ocorre no Campo Úmido, mas também estão presentes no Campo Rupestre, nas veredas e em Matas de Galeria.

Classe Magnoliopsida (Eudicotiledôneas)

Ordem Apiales

Família Apiaceae

Gênero *Eryngium*

Eryngium

Figura 15: Imagem de um grão de pólen de *Eryngium*. Imagem sem escala. Vista equatorial em A e B.



Descrição: Grão de pólen mônade, radioassimétrico, isopolar, perprolato, tricolporado, colpos longos e poros retangulares. Sexina mais espessa que a nexina. Sexina psilada.

Referências: SCHERER; LORSCHUITTER, (2009); LEONHARDT; LORSCHUITTER, (2008).

Hábito de vida: Herbácea

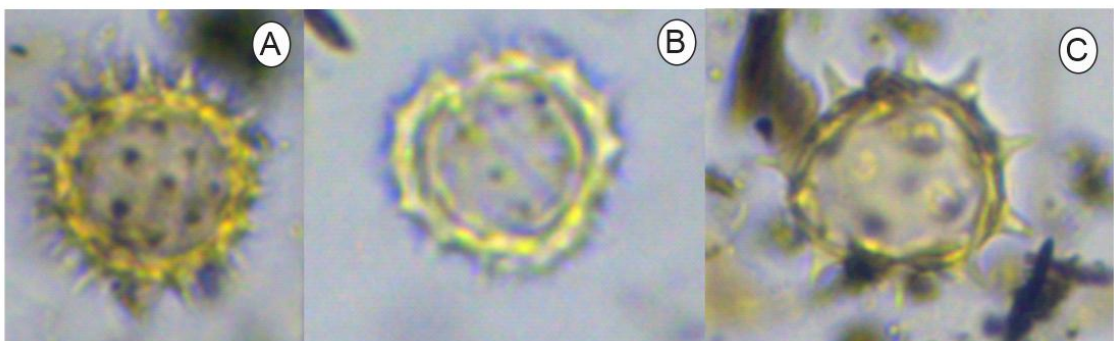
Dados ecológicos: Apiaceae, uma das maiores famílias de angiospermas, é amplamente distribuída de regiões tropicais a temperadas (JUDD *et al.*, 2009). No Cerrado, *Eryngium* é representado por vinte e oito espécies herbáceas, presentes em formações campestres e muitas vezes em ambientes úmidos, como veredas, brejos e Campo Úmido (MENDONÇA *et al.*, 2008). No Parque Nacional da Serra da Canastra, destaca-se a ocorrência de uma espécie possivelmente nova (*Eryngium* sp. nov.) que forma grandes populações entre rochas no vale da nascente do rio São Francisco (ROMERO; NAKAJIMA, 1999). Luz *et al.* (2017) indicam também que o táxon é representativo de fitofisionomias de Campo Limpo Úmido em períodos pretéritos do Quaternário.

Ordem Asterales

Família Asteraceae

Asteraceae

Figura 16: Imagem de um grão de pólen de Asteraceae. Imagem sem escala. Vista equatorial de A até C.



Descrição: Grão de pólen mônade, radioassimétrico, isopolar, âmbito circular a triangular de lados convexos, oblato-esferoidal a prolato-esferoidal, tricolporado. Sexina separada da nexina por um espaço vazio, unidas apenas nas margens das aberturas. Sexina equinada, apresentando espinhos isolados, columelados e com ápice muito aguçado.

Referências: SALGADO-LABOURIAU, (1973); CANCELLI, (2008) (onde corresponde ao Tipo Heliantheae).

Hábito de vida: Herbácea

Dados ecológicos: A família Asteraceae é uma das maiores famílias de angiospermas e é amplamente distribuída no planeta. No Brasil, cerca de 3000 espécies se distribuem principalmente em ambientes áridos, semi-áridos e montanhosos e apresentam menor abundância na floresta tropical úmida (HIND, 1993). De acordo com Nakajima (2000), na Serra da Canastra, a família Asteraceae é a mais rica em número de espécies, ocorrendo em todas as formações vegetais da unidade de conservação. Romero & Nakajima (1999) indicam também que a Serra da Canastra é um importante centro de biodiversidade para o grupo, abrigando 22 espécies endêmicas da família. Entre os táxons exclusivos, destacam-se espécies novas de gêneros como *Hololepis*, encontrada em campos rupestres, e *Inulopsis*, que ocorre nas proximidades da nascente do Rio São Francisco.

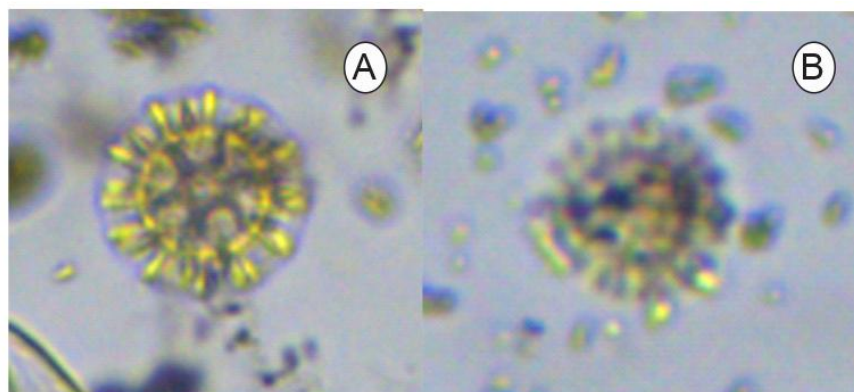
Ordem Caryophyllales

Família Amaranthaceae

Gênero *Gomphrena*

Gomphrena

Figura 17: Imagem de um grão de pólen de *Gomphrena*. Imagem sem escala. Vista equatorial em A e B.



Descrição: Grão de pólen mônade, radiossimétrico, apolar, âmbito circular, esférico, pantoporado. Sexina muito mais espessa que a nexina. Sexina reticulada de malhas grandes, hexagonais ou pentagonais, com um poro circular em cada lúmem. Columelas evidentes, sustentando os muros do retículo.

Referências: SALGADO-LABOURIAU, 1973; COLINVAUX *et al.*, 1999.

Hábito de vida: Herbácea

Dados ecológicos: A família Amaranthaceae é, de acordo com Judd *et al.* (2009), cosmopolita e especialmente característica de ambientes alterados, áridos ou salinos. No Cerrado, estão presentes trinta e três espécies, herbáceas ou subarborescentes, distribuídas em praticamente todas as fitofisionomias do bioma, mas especialmente presentes no Cerrado (*stricto sensu*) e nos Campos (MENDONÇA *et al.*, 2008). Segundo Luz *et al.* (2017), o Tipo *Gomphrena* é um dos componentes heliofíticos e xerofíticos predominantes em formações de Campo Limpo Seco. Estudos de reconstituição paleoambiental em turfeiras de Minas Gerais indicam que a expansão de populações de *Gomphrena* e outros campos secos esteve associada a períodos de máxima aridez regional durante o Holoceno, especificamente entre aproximadamente 8.000 e 6.500 anos AP (LUZ *et al.*, 2023).

Família Droseraceae

Gênero *Drosera*

Drosera

Hábito de vida: Herbácea

Dados ecológicos: A família Droseraceae é comum em áreas úmidas, pobres em nutrientes e com solos ácidos (JUDD *et al.*, 2009). No Brasil ocorrem dez espécies do gênero *Drosera*, características de barrancos úmidos e de bordas de pequenos riachos (SOUZA; LORENZI, 2008).

Ordem Ericales

Família Primulaceae (inclui a antiga Myrsinaceae)

Gênero *Myrsine*

Myrsine

Habito de vida: Arbustivo/ Arbóreo

Dados ecológicos: Esta família é amplamente distribuída em regiões temperadas a tropicais (JUDD *et al.*, 2009). Este é o principal gênero de Myrsinaceae do Brasil, segundo Souza & Lorenzi (2008). As espécies de *Myrsine*, que apresentam hábito arbóreo ou arbustivo, são comuns nas florestas do Sudeste (SOUZA; LORENZI, 2008) e no Cerrado, estão presentes na Mata Ciliar, na Mata de Galeria, na Mata Seca e também em veredas (MENDONÇA *et al.*, 2008). De acordo com Santana *et al.*, 2011, na Serra da Canastra, há ocorrência de *Rapanea guianensis* Aubl., identificada como uma espécie arbórea com densidade de 75 indivíduos por hectare.

Ordem Fabales

Família Polygalaceae

Gênero *Polygala*

Polygala

Figura 18: Imagem de um grão de pólen de *Polygala*. Imagem sem escala. Vista equatorial.



Descrição: Grão de pólen mônade, radiosimétrico, isopolar, âmbito circular, subprolato a prolato, policolporado. Os poros são grandes e unidos pelas extremidades. Exina psilada ou escabrada.

Referências: COLINVAUX *et al.*, 1999; SALGADO-LABOURIAU, 1973.

Hábito de vida: Herbácea.

Dados ecológicos: A família Polygalaceae tem distribuição bem abrangente. A maioria das espécies de *Polygala* são plantas herbáceas encontradas em áreas abertas (SOUZA & LORENZI, 2008). De acordo com Mendonça *et al.* (2008), cerca de 90 espécies de *Polygala*

foram descritas no Cerrado, a maioria são ervas ou subarbustos presentes em formações campestres ou nas bordas de Matas de Galeria e Matas Ciliares.

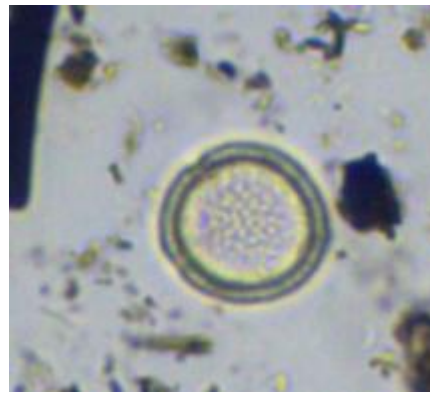
Ordem Gentianales

Família Rubiaceae

Gênero *Borreria*

Borreria

Figura 19: Imagem de um grão de pólen de *Borreria*. Imagem sem escala. Vista polar.



Descrição: Grão de pólen mônade, radiossimétrico, isopolar, âmbito circular, oblato-esferoidal a esférico, estefanocolporado (6 a 10 cólporos) com os colpos curtos. Exina grossa, sexina mais espessa que a nexina. Sexina com columelas evidentes, reticulada.

Referências: COLINVAUX *et al.*, 1999; MACEDO, 2009.

Hábito de vida: Herbácea

Dados ecológicos: Rubiaceae é uma família cosmopolita, com maior diversidade nas regiões tropicais e subtropicais (JUDD *et al.*, 2009) e uma das famílias fundamentais para a estrutura da vegetação de Cerrado na unidade de conservação (SILVA, 2006). É uma das maiores famílias da flora brasileira, importante em quase todas as formações naturais (SOUZA & LORENZI, 2008). A presença de pólen de *Borreria* em polens do Quaternário auxilia no reconhecimento da composição da paleovegetação em áreas de Cerrado (LUZ *et al.*, 2023).

Ordem Malpighiales

Família Euphorbiaceae

Gênero *Acalypha*

Acalypha

Hábito de vida: Herbácea

Dados ecológicos: A família Euphorbiaceae possui distribuição quase cosmopolita, ocorrendo principalmente em áreas tropicais (HEYWOOD *et al.*, 2007; WEBSTER, 2014). O gênero *Acalypha*, de distribuição pantropical, tem no Cerrado um de seus domínios fitogeográficos mais ricos no Brasil, abrigando cerca de 18 espécies (SOUSA *et al.*, 2020). De acordo com Cardiel & Muñoz (2012), as representantes desse gênero no Cerrado, como *A. communis*, *A. amblyodonta*, *A. brasiliensis* e *A. multicaulis*, são geralmente ervas ou arbustos que habitam desde florestas tropicais até regiões semiáridas. Sousa *et al.* (2017) indicam que o gênero apresenta uma notável plasticidade ambiental frente às condições do habitat e possui, em sua maioria, ciclos de floração e frutificação contínuos ao longo do ano.

Gênero *Alchornea*

Alchornea

Figura 20: Imagem de um grão de pólen de *Alchornea*. Imagem sem escala. Vista equatorial.



Descrição: Grão de pólen mônade, radiossimétrico, isopolar, âmbito circular, oblato a oblato-esferoidal, tricolporado com opérculo. Sexina mais espessa que a nexina; a sexina engrossa próximo às aberturas. Sexina escabrada.

Referências: SALGADO-LABOURIAU, 1973; COLINVAUX *et al.*, 1999.

Habito de vida: Arbustivo/ Arbóreo

Dados ecológicos: Seis espécies do gênero *Alchornea* estão presentes no Cerrado, todas elas são árvores que ocorrem em Matas de Galeria e em Matas Ciliares (MENDONÇA *et al.*, 2008).

Ecologicamente, os representantes de *Alchornea* são caracterizados como plantas pioneiras e higrófitas (adaptadas a ambientes úmidos), apresentando seletividade à luz que varia de heliófitas a esciófitas (LUZ *et al.*, 2013). Além disso, o gênero é citado como um componente típico de "capões" de mata, que funcionam como manchas florestais dispersas em meio a formações campestres (LUZ *et al.*, 2023).

Família Malpighiaceae

Gênero *Byrsonima*

Byrsonima

Habito de vida: Arbustivo/ Arbóreo

Dados ecológicos: A família Malpighiaceae é amplamente distribuída em regiões tropicais e subtropicais. No Brasil, destaca-se o gênero *Byrsonima*, que possui aproximadamente 150 espécies (STEVENS, 2001), das quais 47 ocorrem no domínio do Cerrado (MAMEDE, 2013). Na Serra da Canastra, há ocorrência de espécies como *Byrsonima intermedia* A. Juss. (com densidade de 71 ind/ha), *Byrsonima coccolobifolia* Kunth., *Byrsonima crassa* Nied. e *Byrsonima verbascifolia* (L.) Rich. ex Adr. Juss (SANTANA *et al.*, 2011). Ecologicamente, estas espécies habitam diversas fitofisionomias, sendo encontradas em formações de Cerrado *stricto sensu*, Cerradão, Campo Cerrado e nos "capões" de mata (LUZ *et al.*, 2023; SILVA, 2006).

Família Ochnaceae

Gênero *Sauvagesia*

Sauvagesia

Hábito de vida: Herbácea

Dados ecológicos: O gênero *Sauvagesia* L., pertencente à família Ochnaceae (subfamília Sauvagesioideae), é composto por plantas tropicais e subtropicais que habitam diversos ecossistemas brasileiros (NADIA; MACHADO, 2005). De acordo com Barbosa (2002), espécies como *Sauvagesia racemosa* A. St. Hil. apresentam um padrão de floração contínuo ao longo do ano, com maior intensidade durante a estação chuvosa. As espécies de *Sauvagesia* são

especialistas no mecanismo de buzz-pollination (polinização por vibração). Suas flores oferecem o pólen como única recompensa floral (NADIA; MACHADO, 2005).

Ordem Myrtales

Família Lythraceae

Gênero *Cuphea*

***Cuphea* estriada**

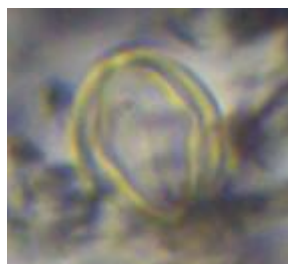
Hábito de vida: Herbácea

Dados ecológicos: A família Lythraceae possui distribuição predominantemente tropical, sendo o Brasil um de seus principais centros de diversidade (GRAHAM *et al.*, 1993; CAVALCANTI, 1990). O gênero *Cuphea* é o mais expressivo da família em número de espécies e possui vasta ocorrência no território brasileiro (CAVALCANTI, 1990), habitando fitofisionomias de Cerrado que variam de campos abertos a bordas de matas (GRAHAM, 1998). De acordo com Luz *et al.* (2017), as representantes deste gênero são plantas heliófitas adaptadas a ambientes de elevada complexidade ambiental; Melazzo; Oliveira (2011) indicam também que, ao contrário da ornitófila *C. melvilla*, a maioria das espécies do gênero, como a *C. strigulosa* Kunth, apresenta síndrome de melitofilia, sendo visitada por uma grande diversidade de abelhas que buscam néctar e pólen (KNAPP, 1993). A espécie destaca-se por sua estratégia reprodutiva versátil, sendo autocompatível e apresentando floração e frutificação contínuas ao longo de todo o ano, o que garante seu sucesso na colonização de diferentes habitats do bioma (GRAHAM, 1998; MELAZZO; OLIVEIRA, 2011).

Família Melastomataceae

Melastomataceae

Figura 21: Imagem de um grão de pólen de Melastomataceae. Imagem sem escala. Vista equatorial.



Descrição: Grão de pólen mônade, radiossimétrico, isopolar, âmbito hexagonal de lados convexos, prolato esferoidal a prolato. Exina fina, psilada ou escabrada.

Referências: SALGADO-LABOURIAU, 1973.

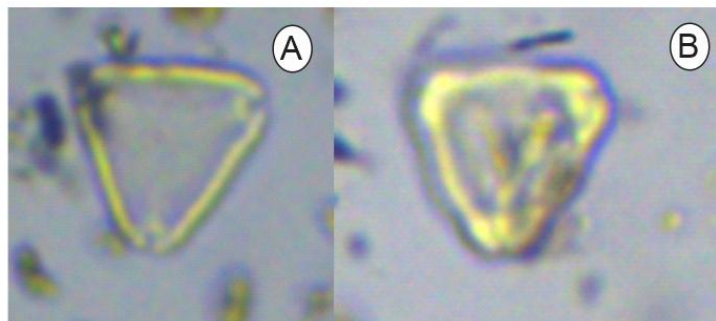
Habito de vida: Arbustivo/ Arbóreo

Dados ecológicos: A família Melastomataceae, de distribuição pantropical, é uma das principais famílias da flora brasileira (SOUZA & LORENZI, 2008). No Parque Nacional da Serra da Canastra (PNSC), esta família apresenta uma riqueza expressiva, com um total de 93 espécies registradas, das quais 9 são consideradas endêmicas da região (ROMERO; NAKAJIMA, 1999). Entre as espécies que ocorrem exclusivamente no Parque, destacam-se *Miconia angelana*, *Microlicia canastrensis*, além de novos táxons em fase de descrição dos gêneros *Microlicia*, *Svitramia* e *Tibouchina* (ROMERO; NAKAJIMA, 1999).

Família Myrtaceae

Myrtaceae

Figura 22: Imagem de um grão de pólen de Myrtaceae. Imagem sem escala. Vista polar em A e B.



Descrição: Grão de pólen mônade, radiossimétrico, isopolar, âmbito triangular de lados retos (anguloaperturado), subprolato, tricolporado. A estratificação da exina não é visível no mesocópio. Na região oral a exina se separa em duas e a camada mais externa se destaca em forma de semi-arco, deixando um espaço vazio entre as duas camadas. Exina escabrada.

Referências: SALGADO-LABOURIAU, 1973.

Habito de vida: Arbustivo/ Arbóreo

Dados ecológicos: A família Myrtaceae apresenta distribuição pantropical e subtropical e é uma das maiores famílias da flora brasileira (SOUZA & LORENZI, 2008). Na Serra da

Canastra, esta família está presente em diversas fitofisionomias, ocupando estratos que vão desde o herbáceo até o arbóreo (SANTANA *et al.*, 2011). De acordo com Santana (2011), a Serra da Canastra apresenta uma ampla variedade de Myrtaceae que são classificadas por sua forma de vida: arbóreas, arbustivas e herbáceas.

Ordem Oxalidales

Família Cunoniaceae

Gênero *Weinmannia*

Weinmannia

Habito de vida: Arbustivo/ Arbóreo

Dados ecológicos: A família Cunoniaceae apresenta representantes distribuídos predominantemente em regiões tropicais de altitude. No Cerrado, o gênero *Weinmannia* ocorre em diversas fitofisionomias, como a Floresta Montana, Mata de Galeria, Mata Ciliar, Campo Rupestre e até no Cerrado *lato sensu*. De acordo com Valente (2009), as espécies de *Weinmannia* são componentes característicos de Florestas Nebulares, adaptadas a ambientes de umidade elevada. Luz *et al.* (2017) indicam também que estas plantas são heliófitas e higrófitas, cujos registros polínicos na Serra do Espinhaço são indicadores de períodos passados com climas mais frios e úmidos no bioma.

Ordem Rosales

Família Cannabaceae

Gênero *Celtis*

Celtis

Habito de vida: Arbustivo/ Arbóreo

Dados ecológicos: A família Cannabaceae é amplamente distribuída no mundo (SOUZA & LORENZI, 2008). Judd *et al.* (2009) indicam também que as flores desta família são tipicamente polinizadas pelo vento (anemofilia), enquanto a dispersão das sementes é predominantemente realizada por aves (zoocoria). De acordo com Luz *et al.* (2017) o seu desenvolvimento no Holoceno sugere momento de atmosfera mais úmida do que a atual.

Espécies de *Celtis* desempenham um papel importante em projetos de reflorestamento e recuperação de áreas degradadas (CERDAN, 2023).

Gênero *Trema*

Trema

Habito de vida: Arbustivo/ Arbóreo

Dados ecológicos: A família Cannabaceae (anteriormente classificada em Ulmaceae) (MARTINS & PIRANI, 2009) possui uma distribuição quase cosmopolita (STEVENS, 2017), ocorrendo em diversas zonas climáticas do mundo (JUDD *et al.*, 2009). No Cerrado, o gênero é representado principalmente pela espécie *Trema micrantha* (L.) Blume (ROMANIUC NETO *et al.*, 2015), uma árvore pioneira de rápido crescimento que habita orlas de matas, clareiras e áreas perturbadas (NECCHI *et al.*, 2012). De acordo com Souza (2019), essa espécie é considerada essencial para o reflorestamento e a recuperação de áreas degradadas devido à sua rusticidade e capacidade de colonizar ambientes abertos.

Família Moraceae

Gênero *Brosimum*

Brosimum

Habito de vida: Arbustivo/ Arbóreo

Dados ecológicos: A família Moraceae possui muitos representantes na flora arbórea de regiões de clima quente e úmido (STEVENS, 2017). No Cerrado brasileiro, o gênero é representado principalmente pela espécie *Brosimum gaudichaudii* Trécul., classificada com hábito arbustivo (SANTANA *et al.*, 2011). Faria *et al.* (2015) indicam que o *B. gaudichaudii* é uma planta decídua, perdendo suas folhas no auge da seca (julho), com a floração ocorrendo entre junho e outubro e a frutificação concentrada entre agosto e dezembro. Faria *et al.* (2015) indicam também que essa periodicidade está intimamente ligada à precipitação, sendo que o pico de frutificação no início das chuvas (outubro) favorece a dispersão zoocórica e o sucesso da germinação das sementes. É amplamente conhecida por nomes como mama-cadela, algodãozinho, algodão-do-campo e inharé (FARIA *et al.*, 2015).

Família Urticaceae

Gênero *Cecropia*

Cecropia

Habito de vida: Arbustivo/ Arbóreo

Dados ecológicos: As árvores do gênero *Cecropia*, popularmente conhecidas como embaúbas, pertencem à família Urticaceae (anteriormente classificada como Cecropiaceae) (CASSINO, 2011). Seus representantes apresentam ampla distribuição em ecossistemas tropicais (JUDD *et al.*, 2009; CERDAN, 2023). Santos & Gonçalves (2015) indicam também que, no Cerrado, o gênero se destaca pela presença de espécies como *Cecropia pachystachya*, que habita tanto áreas de vegetação original quanto ambientes em regeneração. De acordo com Santana *et al.* (2011) a Serra da Canastra está representada por duas espécies arbóreas principais do gênero *Cecropia*, sendo elas: *Cecropia lyratiloba* e *Cecropia pachystachya*. A polinização ocorre predominantemente através do vento, mas também foram observadas abelhas visitando as inflorescências masculinas e femininas (SIMEÃO *et al.*, 2007).

Ordem Solanales

Família Solanaceae

Gênero *Solanum*

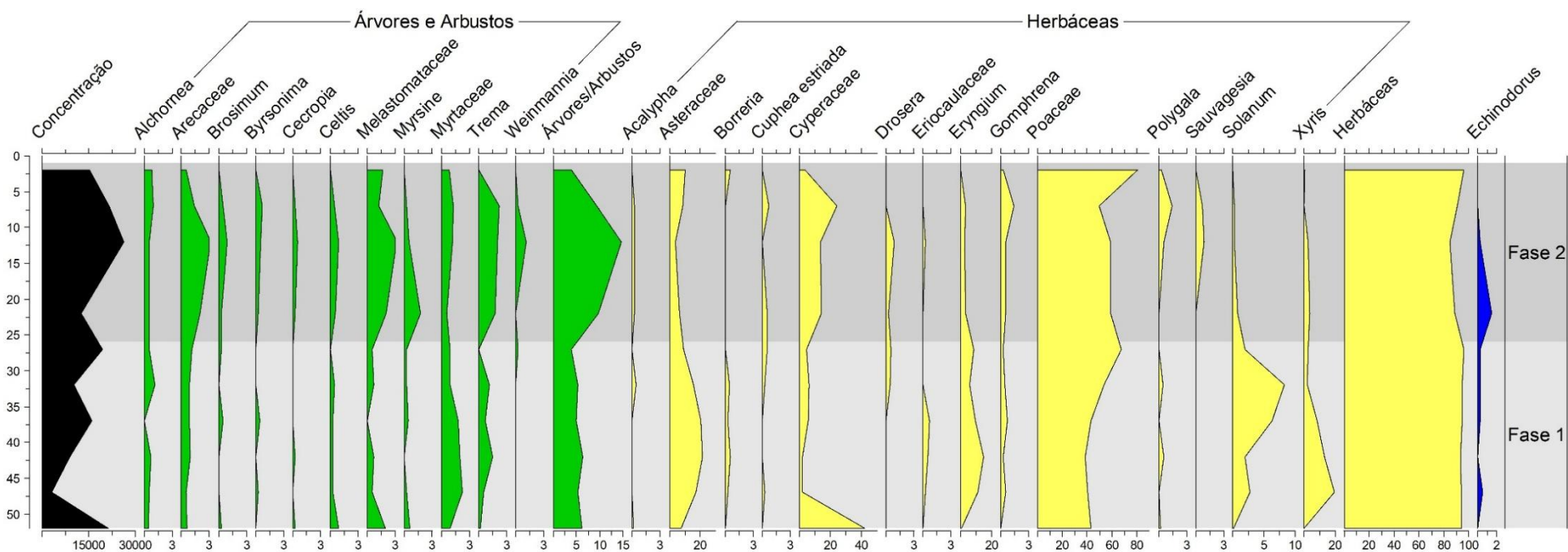
Solanum

Hábito de vida: Herbácea

Dados ecológicos: A família Solanaceae é amplamente distribuída, mas tem sua maior diversidade na região neotropical (JUDD *et al.*, 2009). *Solanum* é em geral um gênero herbáceo. Possui uma presença significativa na Serra da Canastra, sendo representado por espécies de hábitos arbustivos e herbáceos que desempenham papéis ecológicos importantes, especialmente na interação com polinizadores (SANTANA *et al.*, 2011). De acordo com Santana *et al.* (2011), as espécies arbustivas que mais se destacam são: *Solanum cernuum* (panacéia) e *Solanum lycocarpum* (lobeira).

A Figura 23 corresponde ao diagrama polínico elaborado a partir dos dados coletados no testemunho de sondagem SCP1. Sua construção considerou as espécies de maior abundância, com o objetivo de facilitar a análise e a interpretação dos resultados.

Figura 23: Diagrama polínico referente ao testemunho SCP1, coletado na Serra da Canastra (MG).



Fonte: Autoria própria.

O diagrama polínico apresentado na Figura 23 foi dividido em duas fases, com base nas variações observadas na concentração de grãos de pólen, bem como nas mudanças na abundância de árvores/arbustos, espécies herbáceas e da espécie aquática identificada. Ressalta-se que a análise será conduzida por meio de comparações entre essas duas fases.

Na Fase 1, observa-se uma menor concentração total de grãos de pólen. A porcentagem de táxons arbóreos e arbustivos é reduzida, sendo Myrtaceae e *Trema* as únicas que apresentam maior abundância relativa. Em contrapartida, as espécies herbáceas apresentam porcentagens significativamente mais elevadas, com destaque para Poaceae, que domina amplamente o espectro polínico. Outras espécies herbáceas, como *Solanum*, *Xyris*, Asteraceae e *Eryngium*, também apresentam relevância. A porcentagem de *Echinodorus* (espécie aquática) é bastante baixa nessa fase, sendo praticamente nula.

Na Fase 2, verifica-se um aumento na concentração de pólen. As espécies arbóreas e arbustivas apresentam maior porcentagem, com destaque para Arecaceae, Melastomataceae, *Myrsine* e *Trema*, que demonstram aumento significativo em relação à Fase 1. Por outro lado, Myrtaceae apresenta discreta redução percentual. Em relação às espécies herbáceas, observa-se diminuição considerável nas porcentagens de Asteraceae, *Solanum* e *Xyris*, enquanto Poaceae e Cyperaceae registram aumento. A porcentagem de *Echinodorus* apresenta elevação no início dessa fase; contudo, nos níveis superiores, a espécie deixa de ser registrada.

De modo geral, constata-se que a Fase 1 é caracterizada por maior predominância de espécies herbáceas e menor representatividade de espécies arbóreas. Já na Fase 2, observa-se uma leve redução na porcentagem de herbáceas e um discreto aumento na porcentagem de espécies arbóreas, embora a proporção de herbáceas ainda permaneça superior à de arbóreas. A espécie mais abundante ao longo de todos os centímetros analisados foi Poaceae. A espécie aquática *Echinodorus* esteve presente apenas em um curto intervalo dos níveis analisados.

A análise do Quadro 3, que apresenta a quantidade de grãos de pólen identificados em cada profundidade do testemunho, evidencia que as espécies mais abundantes e frequentes ao longo dos níveis analisados são Poaceae, Asteraceae e Cyperaceae.

Quadro 3: Quadro com a quantidade de grão de pólen encontrados em cada centímetro analisado.

Táxon	Hábito de vida	SCP1-2	SCP1-7	SCP1-12	SCP1-22	SCP1-27	SCP1-32	SCP1-37	SCP1-42	SCP1-47	SCP1-52
Lycopodium	Marcador exótico	233	186	129	306	177	418	267	445	1114	306
Acalypha	NA	0	1	1	1	0	2	0	0	0	1
Alchornea	A	3	4	2	2	2	5	0	3	2	3
Arecaceae	A	2	6	11	8	4	4	4	4	2	4
Asteraceae	NA	38	35	13	25	33	70	90	87	62	51
Borreria	NA	2	0	0	0	0	2	1	2	1	0
Brosimum	A	0	2	3	1	1	0	2	0	0	2
Byrsonima	A	0	3	2	1	0	0	2	0	1	0
Cecropia	A	0	1	2	1	0	0	0	1	0	2
Celtis	A	0	2	3	2	0	2	1	1	1	6
Cuphea estriada	NA	0	3	0	2	2	1	0	0	1	0
Cyperaceae	NA	13	101	47	58	17	29	25	9	8	283
Drosera	NA	0	0	3	1	2	2	0	0	0	0
Echinodorus	AQ	0	0	1	6	1	1	1	0	2	0
Eriocaulaceae	NA	0	0	1	0	0	0	3	2	1	0
Eryngium	NA	0	13	10	12	29	26	43	61	39	5
Gomphrena	NA	1	6	2	2	1	2	3	1	2	0
Melastomataceae	A	6	5	11	8	2	3	0	3	2	13
Myrsine	A	0	1	2	7	1	1	2	0	1	4
Myrtaceae	A	3	5	4	2	3	4	8	8	8	6
Poaceae	NA	295	206	205	237	240	240	193	155	144	288
Polygala	NA	1	6	2	0	0	2	0	2	0	1
Sauvagesia	NA	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0
Solanum	NA	0	1	1	3	7	37	28	8	10	1
Trema	A	0	9	7	7	0	5	3	6	2	1
Weinmannia	A	0	1	4	0	1	0	0	0	0	0
Xyris	NA	2	1	10	15	9	10	38	54	69	1

7 DISCUSSÃO

7.1 MICROPLÁSTICO

Inicialmente, foram levantadas três hipóteses para explicar a origem da contaminação por microplásticos no testemunho sedimentar.

A primeira hipótese considerou a possibilidade de contaminação durante a coleta dos testemunhos. No entanto, essa suposição foi descartada, uma vez que o material utilizado no processo, embora plástico, possuía coloração branca, e não foram identificados filamentos dessa cor nas amostras analisadas ao longo de todo o perfil.

A segunda hipótese sugeriu a infiltração de microplásticos a partir da superfície. Contudo, essa explicação mostrou-se pouco consistente. As concentrações registradas nos níveis superficiais do testemunho são relativamente baixas, o que contraria o padrão esperado em caso de infiltração vertical, no qual se observariam concentrações mais elevadas no topo, diminuindo progressivamente em profundidade. Além disso, a presença de partículas até 50 cm de profundidade, intercalada por níveis onde não foram identificados microplásticos, não se ajusta a um modelo simples de infiltração contínua. Soma-se a isso o fato de que a turfeira está localizada em área remota e sob regime de preservação ambiental, onde a frequência de interações antrópicas diretas não é suficientemente elevada para justificar uma contaminação dessa magnitude exclusivamente por deposição superficial.

A terceira hipótese propõe que os microplásticos estejam sendo transportados até a turfeira por meio do lençol freático, previamente contaminado em sua zona de recarga. Essa interpretação encontra respaldo em estudos realizados na cidade de Ribeirão Preto (SP), nos quais foram detectadas concentrações expressivas de microplásticos em lagoas que funcionam como áreas de recarga do Sistema Aquífero Guarani, com valores variando entre 7.030 e 21.678 partículas/m³ (SOARES; RANI-BORGES, 2025).

Até o momento, essa hipótese mostra-se a mais plausível, especialmente considerando que foi observado em campo o contato direto entre o lençol freático e a turfeira. Tal mecanismo também explicaria as baixas concentrações registradas nos níveis superficiais do testemunho, uma vez que, devido ao pequeno tamanho e à baixa densidade das partículas, estas tenderiam a se concentrar na porção superior da lâmina d'água. Como essa lâmina não atinge diretamente a superfície da turfeira, os centímetros iniciais do perfil apresentariam menor concentração,

podendo refletir apenas eventual contribuição por deposição superficial decorrente de interações humanas esporádicas.

Essa hipótese também contribui para explicar o padrão observado entre os centímetros 11 e 37, evidenciado no Gráfico 4, caracterizado por variações oscilatórias nas concentrações. O nível do lençol freático varia sazonalmente, elevando-se nos períodos mais úmidos e chuvosos e rebaixando-se durante as épocas mais secas. Essa dinâmica pode justificar tanto as menores concentrações nos níveis superiores, onde o contato com o lençol pode ser menos frequente, quanto a distribuição irregular das partículas em maiores profundidades, considerando que apenas eventos de seca mais severos seriam capazes de provocar rebaixamentos significativos do nível freático, influenciando o padrão de deposição dos microplásticos ao longo do perfil sedimentar.

7.2 PARTÍCULAS DE CARVÃO E PALINOLOGIA

A interpretação integrada dos dados de partículas de carvão e grãos de pólen foi realizada de forma conjunta, uma vez que a análise combinada desses indicadores permite identificar relações entre o regime de fogo e a dinâmica da vegetação. A discussão foi estruturada em duas fases, em consonância com a divisão estabelecida no diagrama polínico.

Na Fase 1, observa-se um período caracterizado por baixa ocorrência de queimadas, com predominância de combustível de origem herbácea. Espécies como Poaceae, Melastomataceae e Asteraceae apresentam ampla plasticidade ecológica e elevada capacidade de adaptação a diferentes condições ambientais (SANTANA *et al.*, 2011; NAKAJIMA, 2000); por esse motivo, não foram consideradas indicadoras específicas nas comparações paleoambientais. Porém, de uma forma geral, a grande predominância de táxons herbáceos na Fase 1 sugere que a paisagem era dominada por vegetação campestre, com baixa presença de árvores. Por outro lado, táxons como *Xyris*, *Solanum*, *Eryngium*, Myrtaceae e *Trema* são geralmente associados a ambientes mais úmidos, nos quais apresentam bom desenvolvimento. Apesar da provável ocorrência de condições locais relativamente úmidas nesse intervalo, a baixa representatividade de *Echinodorus* (planta aquática) sugere que, embora houvesse disponibilidade hídrica, possivelmente não existiam áreas com acúmulo prolongado de água superficial.

Na Fase 2, verifica-se aumento na ocorrência de queimadas, especialmente nos níveis superiores do testemunho, a partir de 9 cm de profundidade. O combustível permanece majoritariamente de origem herbácea, em razão da elevada abundância dessas espécies na área (SANTANA *et al.*, 2011; SILVA, 2006). Nessa fase, destacam-se Arecaceae, *Myrsine*, *Trema*,

Cyperaceae e *Echinodorus*. Com exceção de parte das espécies de Arecaceae, que podem apresentar maior tolerância a condições sazonalmente mais secas, os demais táxons estão, em geral, associados a ambientes úmidos.

Entretanto, a partir de aproximadamente 8 cm de profundidade, observa-se redução gradual na porcentagem desses táxons, paralelamente ao declínio de *Echinodorus*, que chega a desaparecer nos níveis superficiais do testemunho. Essa alteração no padrão pode indicar o início de uma mudança nas condições ambientais locais, possivelmente relacionada a uma tendência de redução da umidade. Tal hipótese é reforçada pelo registro de *Borreria* nos centímetros superiores, gênero frequentemente associado a ambientes mais abertos e relativamente mais secos (LUZ *et al.*, 2017).

A comparação entre os testemunhos SCP1 e SCP2 também revela diferenças importantes. No SCP2, a maior abundância de partículas de carvão concentra-se essencialmente no primeiro centímetro, enquanto no SCP1 essa maior incidência se estende do topo até aproximadamente o sétimo centímetro. Esse padrão sugere que a área correspondente ao SCP1 é mais suscetível à ocorrência de queimadas.

A intensificação das queimadas neste intervalo superior, evidenciada pela elevada concentração de carvão, apresenta forte probabilidade de influência antrópica, conforme documentado em levantamentos recentes no Parque Nacional (IBAMA, 2005; SANTANA *et al.*, 2011).

Essa maior suscetibilidade pode estar relacionada à maior abundância de material herbáceo na região do SCP1, cuja combustão ocorre com maior facilidade. Essa interpretação é corroborada pela análise da razão comprimento/largura (C/L) das partículas de carvão vistas nos Gráficos 2 e 3: no SCP1, predomina a origem herbácea do combustível; já no SCP2, com exceção do primeiro centímetro, também de origem herbácea e associado à maior abundância de carvão, observa-se, entre os centímetros 2 e 6, predominância de combustível lenhoso, indicando uma estrutura de vegetação mais densa, possivelmente relacionada a pequenos "capões" de mata ou áreas de Cerradão, que alteram a dinâmica do fogo e a preservação de palinomorfos no solo (LUZ *et al.*, 2023; SILVA, 2006). Esse intervalo coincide com o período de maior intensidade de queimadas identificado no SCP1, evidenciando diferenças locais na estrutura da vegetação e na dinâmica do fogo entre as duas áreas amostradas.

8 CONCLUSÃO

A monografia teve como objetivo principal investigar as transformações ocorridas na paisagem ao redor de uma turfeira da Serra da Canastra por meio da análise palinológica, da identificação de evidências de incêndios e da detecção de poluição por microplásticos, caracterizando influência antrópica direta. A análise integrada desses dados permitiu compreender de forma mais abrangente a dinâmica da vegetação em relação ao regime de fogo, bem como a influência da poluição antrópica no contexto atual.

A análise de microplásticos permitiu concluir que sua distribuição ao longo do testemunho é incompatível com contaminação durante a coleta do material ou por infiltração superficial. O padrão observado reforça a hipótese de que essa contaminação ocorre por meio do transporte pelo lençol freático, o qual mantém contato direto com a turfeira. Esse resultado demonstra que mesmo áreas inseridas em unidades de preservação ambiental não estão isentas dos impactos indiretos associados à contaminação antrópica. Além disso, concentrações elevadas desses poluentes podem representar riscos não apenas à saúde humana, mas também ao equilíbrio ambiental.

A análise do diagrama polínico integrada aos gráficos de carvão possibilitou a distinção de duas fases. A primeira fase é caracterizada por menor concentração polínica, predominância de espécies herbáceas e baixa ocorrência de queimadas, indicando um ambiente mais aberto e localmente úmido, porém sem evidências de acúmulo prolongado de água. A segunda fase, por sua vez, apresenta maior concentração polínica, ainda com predominância de espécies herbáceas, mas com discreto aumento na porcentagem de espécies arbóreas e arbustivas. Essa fase também é marcada pelo aumento no registro de carvão vegetal, especialmente nos níveis superficiais. Embora as espécies herbáceas predominem ao longo de todo o perfil, observou-se redução das espécies associadas a climas mais úmidos no topo, juntamente com o desaparecimento de *Echinodorus*, indicando alteração nas condições ambientais e diminuição da umidade local.

Adicionalmente, a comparação da dinâmica do fogo entre os testemunhos SCP1 e SCP2 indicou que o primeiro é mais suscetível a queimadas em razão do predomínio de vegetação herbácea, enquanto o segundo apresenta maior contribuição de material lenhoso no mesmo intervalo analisado. A elevada concentração de carvão nos níveis superiores sugere influência antrópica recente mais intensa.

De forma sintética, os resultados indicam que a área estudada manteve, ao longo do período analisado, características predominantemente herbáceas, com variações na umidade e no regime de fogo, sobretudo nos níveis mais recentes, nos quais se observa maior influência antrópica. A integração entre palinologia, análise de carvão e investigação de microplásticos mostrou-se eficaz para a reconstrução paleoambiental e para a identificação de pressões ambientais contemporâneas.

A monografia apresentou algumas limitações, como a ausência de datação absoluta do perfil sedimentar, a impossibilidade de mensuração detalhada dos grãos de pólen e a necessidade de ampliação do número de testemunhos e de análises complementares. Estudos futuros que integrem datações cronológicas, análises geoquímicas e monitoramento hidrológico poderão refinar as interpretações propostas.

O presente trabalho contribui para a compreensão da dinâmica ambiental local e evidencia a importância de abordagens integradas na avaliação de mudanças ambientais pretéritas e atuais, sobretudo em ecossistemas sensíveis como turfeiras, que funcionam como importantes arquivos naturais da história ambiental e como indicadores de impactos antrópicos recentes.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRÀMOFF, Michael D.; MAGALHÃES, Paulo J.; RAM, Sunanda J. Image Processing with ImageJ. **Biophotonics International**, v. 11, n. 7, p. 36-42, 2004.
- ANDERSON, W. R. Floral conservatism in neotropical Malpighiaceae. **Biotropica**, v. 11, p. 219-223, 1979.
- ANDRADY, A. L. The plastic in microplastics: a review. **Marine Pollution Bulletin**, [s. l.], v. 119, p. 12-22, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.082>. Acesso em: 6 ago. 2025.
- BANCONE, C. E. P. *et al.* The paleoecology of microplastic contamination. **Frontiers in Environmental Science**, [s. l.], v. 8, p. 8, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.574008>. Acesso em: 6 ago. 2025.
- BARBOSA, A. S. **Cerrado biodiversidade e pluralidade**. Flash UCG: notícias da Universidade Católica de Goiás, 2008. Disponível em: <http://www2.ucg.br/flash/cerradoA.html>. Acesso em: [inserir data].
- BARROS, M. A. G. Fenologia da floração, estratégias reprodutivas e polinização de espécies simpátricas do gênero *Byrsonima* Rich (Malpighiaceae). **Revista Brasileira de Biologia**, Rio de Janeiro, v. 52, n. 3, p. 343-353, 1992.
- BÉLANGER, N. *et al.* Periglacial fires and trees in a continental setting of Central Canada, Upper Pleistocene. **Geobiology**, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 109-118, 2014.
- BOMFIM, Airã de Lima; CARNEIRO-TORRES, Daniela Santos. Flora da Bahia: *Acalypha* (Euphorbiaceae). **Sitientibus série Ciências Biológicas**, Feira de Santana, v. 22, 2022.
- CAMARGO, A. L. G. *et al.* Microplastics in sediments of the Pantanal Wetlands, Brazil. **Frontiers in Environmental Science**, [s. l.], v. 10, p. 1017480, 2022.
- CANCELLI, R. R. **Palinologia de Asteraceae: morfologia polínica e suas implicações nos registros do Quaternário do Rio Grande do Sul**. 2008. 173 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

CARMO, Dimas Marchi do; PERALTA, Denilson Fernandes. Survey of bryophytes in Serra da Canastra National Park, Minas Gerais, Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 30, n. 2, p. 254-265, abr./jun. 2016.

CASSINO, Raquel Franco. **Reconstituição da vegetação e do clima do Chapadão dos Gerais durante o Holoceno, a partir da análise palinológica da Vereda Laçador**. 2011. 110 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

CERDAN, Isaura de Paula. **Palinologia em espécies de Rosales nativas de fragmentos florestais remanescentes de Cerrado**. 2023. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Biológicas) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Jaboticabal, 2023.

CHAVES, M. L. de S. C. *et al.* Kimberlito Canastra-1 (São Roque de Minas, MG): geologia, mineralogia e reservas diamantíferas. **REM: Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 61, n. 3, p. 357-364, 2008.

COLINVAUX, P.; DE OLIVEIRA, P. E.; PATINO, J. E. M. **Amazon Pollen Manual and Atlas/Manual e Atlas Palinológico da Amazonia**. Amsterdam: Harwood Academic Publishers, 1999. 322 p.

CONFESSOR, J. G.; SILVA, L. L.; RODRIGUES, S. C. Dinâmica hídrica do solo de fitofisionomia de cerrado ralo do Chapadão do Diamante - Serra da Canastra (MG). **Mercator**, Fortaleza, v. 18, p. 1-17, 2019.

CORTES, J. P. S.; LUPINACCI, C. M.; MORALES, N. Evolução geomorfológica da borda ocidental da Serra da Canastra: proposição de taxonomia de relevo para estudos de áreas de transição. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [s. l.], v. 23, n. 4, 2022.

FARIA, R. A. P. G. *et al.* Características biométricas e emergência de plântulas de *Brosimum gaudichaudii* Tréc. oriundas de diferentes procedências do cerrado mato-grossense. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, Botucatu, v. 11, n. 4, p. 414-421, 2009.

FENG, S. *et al.* Analysis of microplastics in a remote region of the Tibetan Plateau: Implications for natural environmental response to human activities. **Science of The Total Environment**, [s. l.], 2020.

FONSECA, K. *et al.* Catálogo polínico de um testemunho pleistocênico da turfeira Sempre-Vivas inserida no Bioma Savana Tropical, Brasil. **Hoehnea**, São Paulo, v. 48, p. e1262020, 2021.

GIULIETTI, Ana Maria; HENSOLD, Nancy. Padrões de distribuição geográfica dos gêneros de Eriocaulaceae. **Acta Botanica Brasilica**, v. 4, n. 1, p. 133-158, 1990.

GOODLAND, R. J. A.; FERRI, M. G. **Ecologia do cerrado**. São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 1979. 193 p. (Coleção Reconquista do Brasil, 52).

GOSLING, W. D.; WILLIS, K. J. Fossil Pollen and Spores in Paleoecology. In: GOSLING, W. D. *et al.* **Methods in Paleoecology: Reconstructing Environments from the Past**. [s. l.]: Oxford University Press, 2018. p. 209-236.

GUEDES, G. C.; SILVA, A. C. F. da. Cenários do passado: reconstituição milenar da vegetação de Cerrado com base em grãos de pólen. **Revista Brasileira de Paleontologia**, [s. l.], v. 23, n. 3, p. 260-271, 2020.

HAN, Y. M. *et al.* Different characteristics of char and soot in the atmosphere and their ratio as an indicator for source identification in Xi'an, China. **Atmospheric Chemistry and Physics**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 595-607, 2010.

HARTMANN, N. B. *et al.* Are we speaking the same language? Recommendations for a definition and categorization framework for plastic debris. **Environmental Science & Technology**, [s. l.], v. 53, n. 3, p. 1039-1047, 2019.

HAWTHORNE, D. *et al.* Global Modern Charcoal Dataset (GMCD): A tool for exploring proxy-fire linkages and spatial patterns of biomass burning. **Quaternary International**, [s. l.], p. 1-15, 2017.

HAWTHORNE D.; MUSTAPHI C. J. C.; ALEMAN J. C; *et al.* Global Modern Charcoal Datas *et* (GMCD): A tool for exploring proxy-fire linkages and spatial patterns of biomass burning. **Quaternary International**, v. 488, p. 3-17. 2018.

HAYNES, R. R.; HOLM-NIELSEN, L. B. Notas sobre Echinodorus (Alismataceae). **Brittonia**, v. 38, p. 325–332, 1986. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/2807073>.

HIND, D. J. N. Notes on the Compositae of Bahia, Brasil. **Kew Bulletin**, v. 48, p. 245-277, 1993.

JONES, M. B.; MUTHURI, F. M. Standing biomass and carbon distribution in a papyrus (*Cyperus papyrus* L.) swamp on Lake Naivasha, Kenya. **Journal of Tropical Ecology**, [s. l.], v. 13, n. 3, p. 347-356, 1997.

JUDD, W. S. *et al.* **Sistemática Vegetal: um enfoque filogenético**. 3. ed. São Paulo: Artmed, 2009. 612 p.

KACHNIASZ, Karina Eloiza. Palinoestratigrafia da Formação Solimões: comparação entre bioestratigrafia tradicional e o método de associações unitárias. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 19, n. 3, p. 481-490, set./dez. 2016.

KHAN, N. A. *et al.* Microplastics: occurrences, treatment methods, regulations and foreseen environmental impacts. **Environmental Research**, [s. l.], v. 215, p. 114224, 2022.

LEDRU, M. P. *et al.* Palaeoecology of the Salitre site, Serra do Espinhaço, Brazil, since 16,000 yr BP. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, [s. l.], v. 123, n. 1-4, p. 115-132, 1996.

LEDRU, M.-P. *et al.* Mudanças na vegetação e no ciclo da água do páramo equatorial durante os últimos 5000 anos. **O Holoceno**, [s. l.], v. 32, n. 3, p. 1-14, 2022.

LUZ, Cynthia Fernandes Pinto da *et al.* Cenários do passado: reconstituição milenar da vegetação de Cerrado com base em grãos de pólen e outros microfósseis em turfeiras da Serra do Espinhaço Meridional. **Revista Espinhaço**, v. 12, n. 1, 2023.

LUZ, Cynthia Fernandes Pinto da *et al.* Pollen record of a tropical peatland (Pau de Fruta) from the Serra do Espinhaço Meridional, Diamantina, State of Minas Gerais – Angiosperms Eudicotyledons. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 20, n. 1, p. 3-22, 2017.

MARHOLD, Karol (ed.) *et al.* IAPT chromosome data 31. **Taxon**, v. 69, n. 6, p. 1381-1398, 2020.

MENDES, F. N. *et al.* Fenologia e biologia reprodutiva de duas espécies de *Byrsonima* Rich. (Malpighiaceae) em área de Cerrado no Nordeste do Brasil. **Biota Neotropica**, v. 11, n. 2, p. 103-115, 2011.

- MENDONÇA, K. *et al.* Plantas Apícolas de Importância para *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae) em Fragmento de Cerrado em Itirapina, SP. **Neotropical Entomology**, v. 37, n. 5, p. 513-521, 2008.
- MENDONÇA, R. C. *et al.* Flora vascular do bioma Cerrado: um “checklist” com 11.430 espécies. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (eds.). **Cerrado: Ecologia e Flora**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. v. 2. p. 423-1279.
- MOROKAWA, Rosemeri; SIMÕES, André Olmos; KINOSHITA, Luiza Sumiko. Apocynaceae s. str. do Parque Nacional da Serra da Canastra, Minas Gerais, Brasil. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 64, n. 1, p. 179-199, 2013.
- MOTA, F. S. *et al.* The legacy of fire on a tropical savanna: a paleoecological perspective from Serra Negra, Minas Gerais, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, [s. l.], v. 92, p. 13-24, 2019.
- NADIA, T. L.; MACHADO, I. C. Polinização e reprodução de *Sauvagesia erecta* e *S. sprengelii* (Ochnaceae). **Revista Brasileira de Botânica**, v. 28, n. 2, p. 255-265, 2005.
- NAKAJIMA, Jimi Naoki. **A família Asteraceae no Parque Nacional da Serra da Canastra, Minas Gerais, Brasil**. 2000. 467 f. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) – Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.
- NECCHI, O. Jr.; BRANCO, L. H. Z.; BRANCO, C. C. Z. Características limnológicas da bacia do Alto Rio São Francisco, Parque Nacional da Serra da Canastra, Minas Gerais. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 12, p. 11-22, 2000.
- NGUYEN, M. K. *et al.* Investigation of ecological risk of microplastics in peatland areas: A case study in Vietnam. **Environmental Research**, [s. l.], v. 220, p. 115190, 2023.
- ODGAARD, B. V. The fire history of Danish heathland areas as reflected by pollen and charred particles in lake sediments. **Holocene**, [s. l.], v. 2, n. 3, p. 218-226, 1992.
- POWER, M. J. *et al.* Changes in fire activity since the Last Glacial Maximum: an assessment of a global charcoal dataset. **Climate of the Past**, [s. l.], v. 12, p. 117-133, 2016.

PROVENCHER, J. F. *et al.* Quantifying ingested debris in marine megafauna: a review and recommendations for standardization. **Analytical Methods**, [s. l.], v. 9, n. 9, p. 1454-1469, 2017.

RADAESKI, J. N.; EVALDT, A. C. P.; BAUERMANN, S. G. Grãos de pólen de espécies ocorrentes no Parque Estadual do Espinilho, Rio Grande do Sul, Brasil. **Iheringia, Série Botânica**, Porto Alegre, v. 69, n. 2, p. 321-352, 2014.

RAMOS-ZAMORA, D. Morfología de los granos de polen de la familia Moraceae en México. **Boletín de la Sociedad Botánica de México**, n. 36, p. 71-92, 1977.

RÊGO, M. M. C.; ALBUQUERQUE, P. M. C. Comportamento das abelhas visitantes de murici, *Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth Malpighiaceae. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Zoológica**, v. 5, p. 179-183, 1989.

RIBEIRO, Carlos Magno. “O Recado do Morro” e a Geografia de Minas Gerais. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 17, n. 28, p. 121-139, 2007.

RIBEIRO, E. K. M. D.; REGO, M. M. C.; MACHADO, I. C. S. C. Cargas polínicas de abelhas polinizadoras de *Byrsonima chrysophylla* Kunth. (Malpighiaceae): fidelidade e fontes alternativas de recursos florais. **Acta Botanica Brasilica**, v. 22, n. 1, p. 165-171, 2008.

ROMERO, R.; NAKAJIMA, J. N. Espécies endêmicas do Parque Nacional da Serra da Canastra, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 22, n. 2 (suplemento), p. 259-265, out. 1999.

SALGADO-LABOURIAU, M. L. **Contribuição à Palinologia dos Cerrados**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1973. 291 p.

SANTANA, Otacílio Antunes *et al.* Inventário das espécies vegetais na Serra da Canastra, Parque Nacional da Serra da Canastra, Minas Gerais, Brasil. **Espaço & Geografia**, v. 14, n. 1, p. 53-77, 2011.

SANTOS, Karen Cristine Bezerra da Silva; GONÇALVES, Ariadne Barbosa. Polens importantes na flora apícola em uma região de cerrado em Campo Grande – MS. **Revista de Biologia Neotropical**, v. 12, n. 2, p. 81-85, 2015.

SANTOS, Rizia Rodrigues. **Germoplasma de Echinodorus floribundus e Echinodorus subalatus: morfologia, fenologia e fitoquímica**. 2019. 73 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2019.

SAZIMA, M.; SAZIMA, I. Oil-gathering bees visit flowers of eglandular morphs of the oil-producing Malpighiaceae. **Acta Botanica Brasilica**, v. 3, n. 1, p. 106-111, 1989.

SCHIRINZI, G. F. *et al.* Cytotoxic effects of commonly used nanomaterials and microplastics on cerebral and epithelial human cells. **Environmental Research**, [s. l.], v. 159, p. 579-587, 2017.

SCUDELLER, Veridiana Vizoni. Bignoniaceae Juss. no Parque Nacional da Serra da Canastra – Minas Gerais, Brasil. **Iheringia, Série Botânica**, Porto Alegre, v. 59, n. 1, p. 59-73, jan./jun. 2004.

SILVA, Marcia Corrêa Vieira da. **Caracterização fitofisionômica em trecho de ocorrência de cerrado no Parque Nacional da Serra da Canastra (MG) e suas interações com a textura, profundidade e umidade do solo**. 2006. 100 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.

SOARES, Alexandra Savio; RANI-BORGES, Bárbara; ROCHA, Odete. Ocorrência de microplásticos em lagoas localizadas em áreas de recarga do Sistema Aquífero Guarani no município de Ribeirão Preto (SP). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 33., 2025, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos...** Rio de Janeiro: ABES, 2025.

SOUZA, Elnatan Bezerra de *et al.* *Borreria apodiensis* (Rubiaceae: Spermacoceae), a new species from Ceará and Rio Grande do Norte, Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 30, n. 2, p. 283-289, abr./jun. 2016.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica Sistemática: guia para identificação das famílias de fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG II**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. 703 p.

STEVENS, P. F. **Angiosperm Phylogeny Website**. Version 14, July 2017. Disponível em: <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>. Acesso em: 12 dez. 2013.

- SYBERG, K. *et al.* Microplastics: addressing ecological risk through lessons learned. **Environmental Toxicology and Chemistry**, [s. l.], v. 34, n. 5, p. 945-953, 2015.
- TAKEDA, S. *et al.* Catálogo polínico do Parque Estadual de Vila Velha. **Publicatio UEPG – Biological and Health Sciences**, Ponta Grossa, v. 6, n. 1, p. 61-73, 2000.
- TEIXEIRA, L. A. G.; MACHADO, I. C. Sistema de polinização e reprodução de *Byrsonima sericea* DC (Malpighiaceae). **Acta Botanica Brasilica**, v. 14, n. 3, p. 347-357, 2000.
- THOMPSON, R. C. *et al.* Lost at sea: where is all the plastic? **Science**, [s. l.], v. 304, n. 5672, p. 838, 2004.
- TRAVERSE, A. **Paleopalynology**. 2. ed. The Netherlands: Springer, 2007.
- VACHULA, R. S.; SAE-LIM, J.; LI, R. A critical appraisal of charcoal morphometry as a paleofire fuel type proxy. **Quaternary Science Reviews**, [s. l.], v. 262, p. 106979, 2021.
- VAN CAUWENBERGHE, L. *et al.* Microplastics in sediments: A review of techniques, occurrence and effects. **Marine Environmental Research**, [s. l.], 2015.
- VILHENA, A. M. G. F.; AUGUSTO, S. C. Polinizadores da aceroleira *Malpighia emarginata* DC (Malpighiaceae) em área de Cerrado no Triângulo Mineiro. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 4, p. 14-23, 2007.
- WEBER, C. J. *et al.* Plastics as a stratigraphic marker in fluvial deposits. **Anthropocene**, [s. l.], v. 36, p. 100314, 2021.
- WEBER, L.; RANGEL, L. G.; FERREIRA, P. A. Microplastic as a stratigraphic marker. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 93, n. 1, e20200388, 2021.
- WHITLOCK, C.; LARSEN, C. Charcoal as a fire proxy. In: SMOL, J. P. *et al.* (eds.). **Tracking Environmental Change Using Lake Sediments: Terrestrial, Algal, and Siliceous Indicators**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002. v. 3. p. 75-97.
- WILLIAMS, J. W.; JACKSON, S. T. Pollen. In: ELIAS, S. A.; ELIAS, S. A. (eds.). **Encyclopedia of Quaternary Science**. 2. ed. [s. l.]: Elsevier, 2015. p. 111-125.

ZALASIEWICZ, J. *et al.* The geological cycle of plastics and their use as a stratigraphic indicator of the Anthropocene. **Anthropocene**, [s. l.], v. 13, p. 4-17, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2016.01.002>. Acesso em: 6 ago. 2025.