

Avaliação das Hipóteses de Formação de Campos de Murundus no Distrito Federal por Meio da Análise de Elementos da Paisagem

Evaluation of the Hypotheses on the Formation of Earth Mound Fields in the Federal District of Brazil Through Landscape Element Analysis

Thyego Pery Monteiro de Lima¹
Rodrigo Studart Corrêa²

Palavras-chave	Resumo
Métricas de Paisagem LiDAR Fitofisionomia Morfometria Altimetria	No Cerrado ocorrem Campos de Murundus (CM), que representam a fitofisionomia mais rara dentre as quatorze existentes no Distrito Federal (DF). Todavia, a origem dos CM permanece controversa, e hipóteses biótica e abiótica sobre a gênese dessa fitofisionomia consideram mecanismos de formação divergentes entre si. Para testar essas hipóteses, este estudo avaliou a configuração de 197 CM na paisagem do DF e caracterizou a sua estrutura. Os CM identificados foram georreferenciados e inseridos em imagem aérea de 2009. A área de cada CM foi vetorizada e a configuração dessa fitofisionomia na paisagem foi avaliada por meio de métricas. As estruturas de quatro CM foram levantadas por meio de perfilamento a laser (LiDAR), contemplando métricas de ocupação, morfologia e dispersão. Adicionalmente, analisou-se a cota altimétrica dos topos dos murundus e das superfícies adjacentes aos CM para se verificar a existência de continuidade altimétrica entre esses elementos. Os CM identificados somaram uma área total 6.556 ha, correspondendo a 1,2% da área do território distrital. Em relação à hipótese biótica, as métricas relacionadas à dispersão dos murundus, o volume e a área basal deles não são compatíveis com as características dos termiteiros das espécies relatadas como construtoras de murundus. Por outro lado, a continuidade altimétrica entre os topos dos murundus e as superfícies externas adjacentes aos CM reforça a hipótese abiótica de formação dos murundus nessa fitofisionomia.

Keywords	Abstract
Landscape Metrics LiDAR Phytophysionomy Morphometry Altimetry	The Brazilian Savanna houses Earth Mound Fields (EmF), which represent the rarest phytophysionomy among the fourteen present in the Federal District of Brazil (FDB). However, the EmF origin remains a subject of debate, and biotic and abiotic hypotheses propose divergent mechanisms for EmF's mound formation. To shed light on the subject, this study evaluated the spatial configuration of 197 EmF on the FDB landscape and characterized their structure. The identified EmF across the FDB territory were georeferenced and overlaid onto aerial images from 2009. The area of each EmF was manually vectorized and its configuration was evaluated using landscape metrics. The structures of four EmF were examined using laser profiling (LiDAR), incorporating metrics related to occupation, morphology, and dispersion. In addition, the elevation of mounds' tops and the adjacent surfaces was analyzed to assess the altimetric continuity between these elements. The identified EmF spread over 6,556 ha, representing 1.2% of the FDB's territory. Regarding the biotic hypothesis, the metrics associated with the dispersion of EmF's mounds, their volume, and basal area do not align with the characteristics of termite mounds attributed to the species reported as mound builders. Additionally, the altimetric continuity between mounds' tops and the external surfaces adjacent to EmF supports the abiotic hypothesis for mound formation.

¹ Universidade de Brasília– PPGCA, Brasília, DF, Brasil. perymonteiro@gmail.com
² Universidade de Brasília– PPGCA, Brasília, DF, Brasil. rodmanga@gmail.com

INTRODUÇÃO

O Cerrado, bioma que ocorre no Planalto Central brasileiro, é formado por um complexo vegetacional que ocupa aproximadamente 23% do território brasileiro (Ribeiro; Walter, 2008; Souza *et al.*, 2020). As várias formações vegetais do Cerrado se apresentam como um mosaico em que as fitofisionomias se alternam e se mesclam de acordo com o relevo, tipos de solos e incidência de queimadas (Oliveira, 2014).

Nesse contexto, ocorrem os Campos de Murundus (CM), fitofisionomia também conhecida como Parque de Cerrado (Ribeiro; Walter, 2008). Essencialmente, os CM são formados por pequenas elevações arredondadas (murundus), medindo de 0,3 a 20 m de diâmetro e de 0,2 a 2 m de altura, distribuídos sobre terrenos planos ou suavemente ondulados (Oliveira-Filho, 1992). A investigação de mais de 180 CM no Distrito Federal (DF) revelou que as paisagens onde eles ocorrem estão associadas a solos hidromórficos, terrenos com declividade entre 2% e 5% e a áreas de pediplano (Lima, Corrêa, 2021). Em 2020, a Lei Distrital nº 6.520 determinou que CM são Áreas de Preservação Permanente no DF, reconhecendo a importância dessa fitofisionomia e aumentando as suas chances de preservação.

As primeiras investigações de CM no Brasil datam da década de 1960 e levantaram hipóteses sobre sua origem (Cole, 1960; Eiten, 1972; Mathews, 1977), que consideram fatores bióticos e abióticos de formação (Ponce; Cunha, 1993). Sob a hipótese biótica, os murundus seriam construídos por térmitas, envolvendo diferentes etapas, cada uma delas correspondendo à ação de uma espécie diferente (Mathews, 1977). A colonização inicial da área ocorreria pela espécie com maior tolerância à umidade do solo (*Armitermes cerradoensis*) e a etapa final de construção dos murundus ocorreria pela espécie com menor tolerância à umidade do solo (*Cornitermes snyderi*). Nesse sentido, *A. cerradoensis* seria diretamente responsável pela localização de cada murundu no campo em que está situado e *C. snyderi* seria diretamente responsável por conferir ao murundu suas características morfológicas finais.

A hipótese abiótica defende que a gênese e evolução dos CM relacionam-se à dinâmica

hídrica superficial e subterrânea da área onde eles ocorrem. Dessa forma, o escoamento superficial da água sobre a superfície do solo resultaria em erosão laminar diferencial, originando os montículos como resultado do rebaixamento de parte da superfície do terreno (Silva *et al.*, 2010). Consequentemente, os murundus seriam estruturas residuais que resistiram à erosão (Araújo Neto *et al.*, 1986; Araújo Neto, 1981; Baptista *et al.*, 2013; Furley, 1986), e os térmitas os teriam ocupado posteriormente, devido ao ambiente mais seco nos montículos do que na superfície rebaixada pela erosão. O estudo de elementos da paisagem onde ocorrem CM pode elucidar a origem e os processos de formação dessa fitofisionomia. Paisagens são sistemas dinâmicos e suas estruturas expressam os padrões espaciais de seus elementos e as conexões entre eles (Gkyer, 2013). Nesse contexto, o sistema LiDAR (*Light Detection and Ranging*) pode contribuir para levantamento topográfico e entendimento da paisagem onde ocorrem os CM.

Segundo Estornell *et al.* (2011), o sistema LiDAR é um método ativo de sensoriamento remoto que mede o tempo entre a emissão de um pulso de luz laser a partir do espaço e o momento em que ele retorna da superfície terrestre. Essa informação pode então ser utilizada para determinar elevações do terreno, de objetos acima do nível da superfície terrestre e a altura da copa de árvores.

Além disso, essa tecnologia possibilita a coleta ágil, precisa e detalhada de grandes quantidades de dados georreferenciados, apresentados como nuvens de pontos tridimensionais. Apesar do elevado custo computacional para armazenar esse tipo de dado, o sistema LIDAR permite diversas aplicações territoriais, tais como estudos dos aspectos biofísicos da vegetação e levantamento topográfico do terreno (McGlone, 2004; Mendonça; Paz, 2022).

Similarmente, métricas de paisagem são ferramentas úteis para caracterizar seus elementos e sua complexidade estrutural (Longo *et al.*, 2024; Ribeiro *et al.*, 2020). Apesar da existência de estudos no DF sobre a associação entre CM e elementos da paisagem (Araújo Neto *et al.*, 1986; Araújo Neto, 1981; Lima; Corrêa, 2021), não há ainda uma avaliação da configuração e estrutura que CM apresentam.

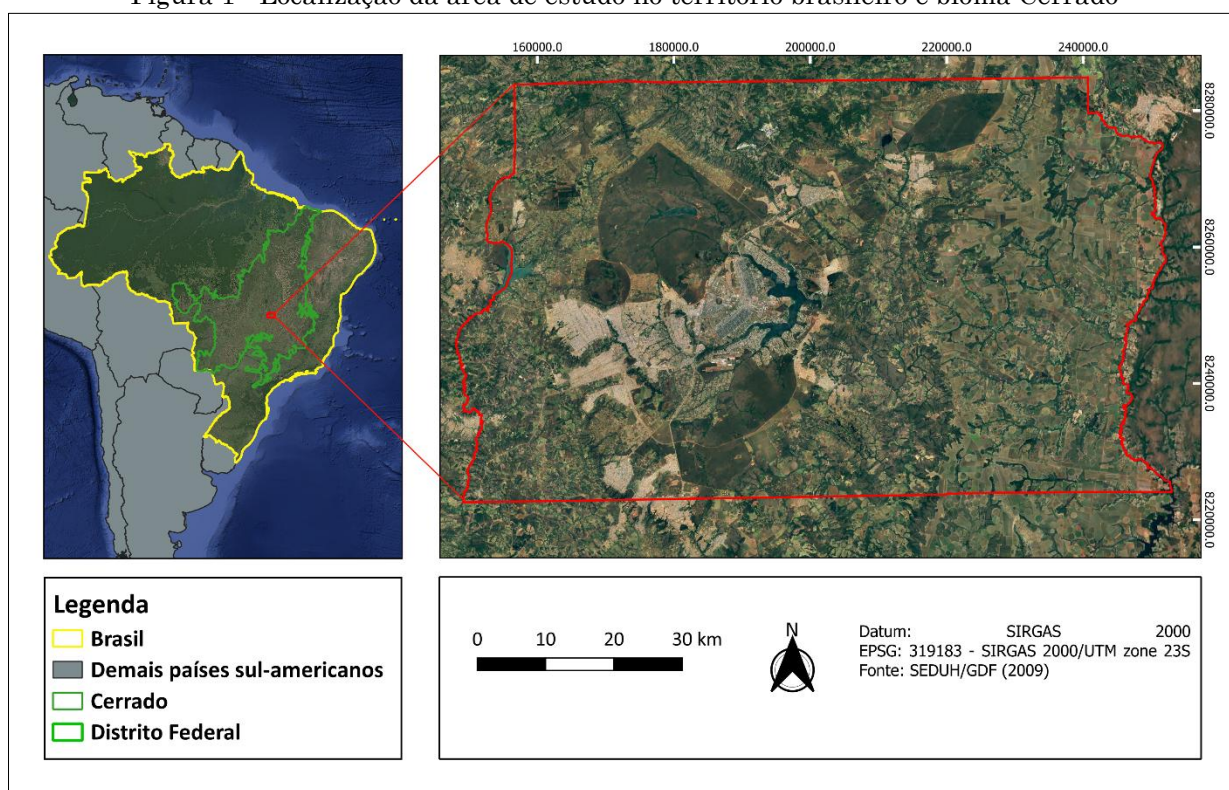
Assim, a investigação da configuração e da estrutura dessa fitofisionomia apresenta o potencial para se elucidarem questões relacionadas aos processos associados à sua gênese e conservação. Considerando esse contexto, este estudo objetivou (1) avaliar as hipóteses de formação dos CM por meio da análise de sua configuração na paisagem do DF e (2) caracterizar a estrutura desses campos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo é o território do Distrito Federal (DF), que ocupa 5.814 km² do Planalto Central Brasileiro, em altitudes que variam de 900 a 1.300 m (Figura 1). A topografia da área de estudo varia de plana a ondulada, a temperatura média anual varia entre 19 e 23 °C e a precipitação média anual é de aproximadamente 1.500 mm, com 85% do volume precipitando de novembro a abril (INMET, 2022).

Figura 1 - Localização da área de estudo no território brasileiro e bioma Cerrado



Fonte: Os autores (2025), com base em SEDUH/GDF (2009).

Mapeamento da ocorrência de Campos de Murundus

Nos anos de 2017 a 2022, Campos de Murundus (CM) no DF foram identificados *in situ* e georreferenciados por meio de um aparelho GPS Garmin Etrex Camo, Datum WGS 84. Em seguida, as coordenadas obtidas foram inseridas no *software* ArcGIS 10.8, reprojetaadas para SRC SIRGAS 2000/UTM zona 23S (EPSG: 31983) e sobrepostas a um mosaico de fotografias aéreas do território do DF para se aferir a área ocupada por cada CM. Esse mosaico foi composto por

fotografias aéreas com resolução espacial de 1 m (GSD) e abrangiam todo o território do DF (SEDUH/GDF, 2009).

As fotografias aéreas acima citadas foram obtidas entre 8/7/2009 e 9/8/2009 por meio de câmera fotográfica modelo UltraCam-XP aerotransportadas a uma altura de voo com variação máxima de 5% em relação ao plano médio do terreno (SEDUH/GDF, 2009). A escolha da imagem de 2009 possibilitou a vetorização manual das poligonais dos CM ao longo das suas respectivas bordas, utilizando-se a escala visual fixa de 1:2.500. Lima (2023) ressalta

que a quantidade de campos de murundus no DF permaneceu inalterada entre a data do imageamento aéreo e a data da identificação *in situ*, e que a área média desses campos não apresentou diferenças estatisticamente significativas.

Suficiência amostral de Campos de Murundus

Após a identificação *in situ* e o georreferenciamento dos CM, a suficiência amostral foi avaliada (Eq. 1) (Fávero *et al.*, 2009; Triola, 2013), considerando diferentes cenários de níveis de confiança (90 e 95%), erros amostrais (5 e 10%) e populações hipotéticas de CM originalmente existentes no DF (400, 500, 1.000 e 10.000 unidades). Os cenários considerados adequados para a representatividade da amostra foram aqueles cujo tamanho amostral calculado foi menor ou igual a 197 Campos de Murundus.

$$n = \frac{z^2 \cdot p \cdot q \cdot N}{e^2 (N-1) + z^2 \cdot p \cdot q} \quad \text{Eq. (1)}$$

Em que:

n : número de indivíduos da amostra;
 z : abcissa da distribuição normal padrão, fixado um nível de confiança;
 p : estimativa de proporção. Adotou-se o valor de 0,5 para maximizar o dimensionamento amostral visando à maior segurança, conforme Fávero *et al.* (2009).
 q : Igual à 1 - p .
 N : Tamanho da população
 e : erro amostral.

Caracterização da configuração de Campos de Murundus

Após a vetorização dos CM no DF, realizou-se a caracterização da sua configuração por meio de métricas de paisagem (Quadro 1). As fórmulas de cálculo empregadas podem ser consultadas no material complementar.

Quadro 1 - Métricas calculadas para os Campos de Murundus (CM) no Distrito Federal (DF) e suas respectivas categorias, calculadas conforme Lang e Tiede (2003) e Mcgarigal e Marks (1995)

Métrica (unidade)	Categoria
Número de Campos de Murundus (unidade)	
Área média (ha)	
Área total (ha)	
Borda média (km)	Área e borda
Total de bordas (km)	
Densidade de borda (m.ha ⁻¹)	
Índice de forma médio (adimensional)	
Dimensão Fractal média (adimensional)	Forma
Razão perímetro-área média (adimensional)	
Distância média do vizinho mais próximo (km)	Proximidade
Índice de proximidade (adimensional)	

Fonte: Os autores (2025).

Caracterização da estrutura de Campos de Murundus

Para a caracterização da estrutura dos CM, selecionaram-se os quatro campos com área superior a 10 ha e que se mostravam preservados no Mapeamento das Áreas Urbanas e Urbanizáveis do Distrito Federal na escala de 1:1.000 (Terracap, 2016). Os supracitados CM foram codificados na presente base de dados como CM_09, CM_15, CM_32 e CM_37. Conforme Terracap (2016), o perfilamento a laser (LiDAR) do aerolevantamento possui densidade média de 4 pontos.m⁻², podendo alcançar até 12 pontos.m⁻² em algumas áreas, resultando em nuvens de pontos que, posteriormente, passam por filtragem automatizada e classificação temática, conforme os elementos identificados (solo, vegetação, edificações e outros).

As nuvens de pontos levantadas por meio do LiDAR pela Terracap (2016) foram utilizadas como dados de entrada para a elaboração de Modelo Digital de Terreno (MDT) e de mapa de declividade. Conforme Isenburg e Olaya (2019),

utilizou-se a interpolação de Redes de Triangulação Irregular (TIN) para criar uma superfície formada por triângulos de pontos vizinhos mais próximos. Para a elaboração do MDT e do mapa de declividade, utilizaram-se somente pontos que alcançaram o solo, permitindo a identificação das características geomorfológicas dos murundus (montículos) existentes nos CM. Para essa modelagem do terreno, adotou-se o valor de 20 cm como resolução espacial do modelo, conforme aplicado por Barbosa *et al.* (2021).

A delimitação do microrrelevo de cada murundu nos CM selecionados ocorreu por meio do mapa de declividade, conforme Sales *et al.* (2019), que indicaram que a declividade de 20% é a mais próxima da correta cartografização das feições dos murundus. O MDT dos quatro CM e os arquivos vetoriais contendo a delimitação dos murundus possibilitaram o cálculo das métricas descritoras da estrutura desses ambientes (Quadro 2), conforme Redcatch GMBH (2022) e Lang e Tiede (2003). As fórmulas de cálculo empregadas podem ser consultadas no material complementar.

Quadro 2 - Métricas de caracterização da estrutura de Campos de Murundus (CM) no Distrito Federal (DF) e suas respectivas categorias, calculadas conforme Lang e Tiede (2003) e Mcgarigal e Marks (1995)

Métrica (unidade)	Categoria
Número de murundus (unidade)	
Densidade de ocupação (murundus.ha ⁻¹)	Ocupação e borda
Densidade de bordas (m.ha ⁻¹)	
Área média (m ²)	
Altura média (m)	
Volume médio (m ³)	Morfologia
Índice de Forma Médio (adimensional)	
Dimensão Fractal Média (adimensional)	
Distância média do vizinho mais próximo (m)	Proximidade e dispersão
Índice de dispersão de Clark e Evans (adimensional)	

Fonte: Os autores (2025).

Variação altimétrica de murundus e de superfície adjacente

Com base nos MDT dos quatro CM selecionados e utilizando-se o método aplicado por Sales (2021) e Sales *et al.* (2021), analisou-se a cota altimétrica dos topos dos murundus e das

superfícies adjacentes aos CM para se verificar a existência de continuidade altimétrica entre esses elementos. A partir do limite dos CM, determinou-se um *buffer* interno ao campo de 50 m e, em seguida, contabilizou-se o número de murundus dentro dessa faixa e a altitude máxima de cada montículo selecionado.

Posteriormente, delimitou-se um *buffer* externo de 50 m e, dentro dele, selecionaram-se pontos para caracterização altimétrica da superfície adjacente ao CM. Diferentemente de Sales (2021) e Sales *et al.* (2021), que utilizaram *buffer* de 120 m, definiram-se neste trabalho *buffers* de 50 m devido à proximidade dos campos investigados com áreas urbanas. Adicionalmente, optou-se por excluir dessa análise as áreas antropizadas, conforme mapeado por SEDUH/GDF (2021). Essa exclusão visou impedir a amostragem altimétrica em áreas construídas, evitando a interferência de superfícies urbanizadas. Além disso, cabe destacar que os pontos externos aos CM foram selecionados aleatoriamente e na mesma quantidade de murundus abrangidos pelo *buffer* interno. Esse procedimento foi realizado para os quatro CM selecionados (CM_09, CM_15, CM_32 e CM_37).

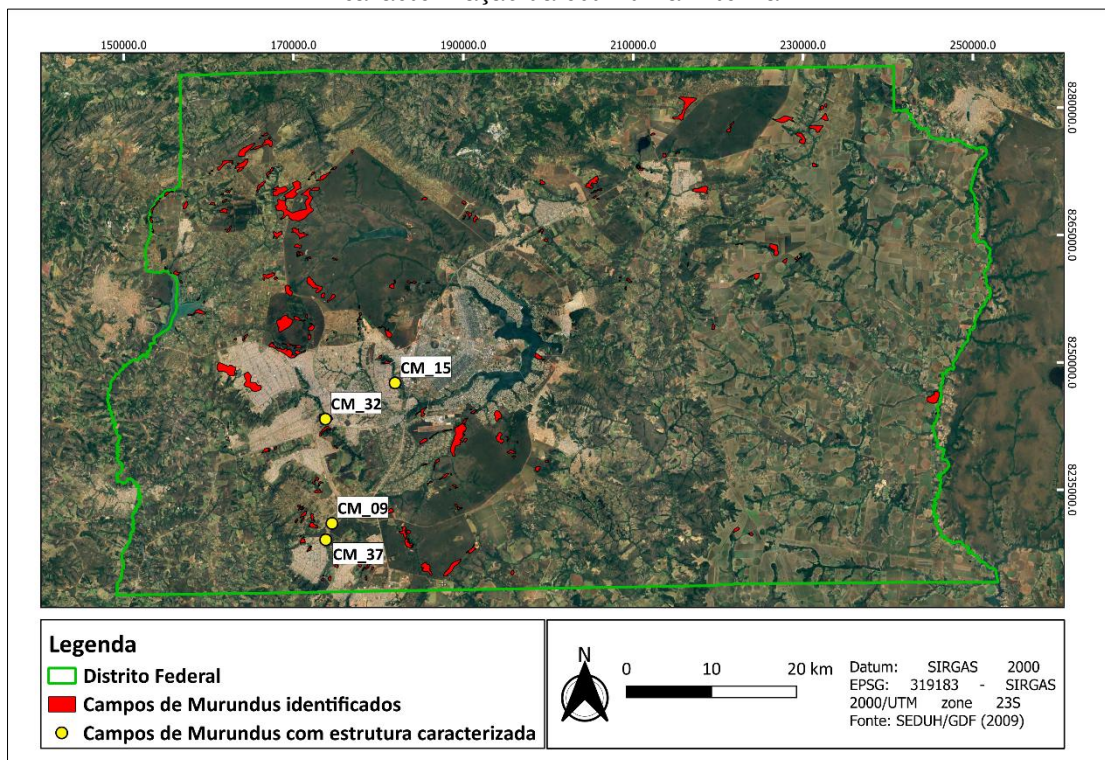
Conforme recomendado por Fávero *et al.* (2009) e Triola (2013), os conjuntos de dados tiveram a normalidade verificada por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov ($p = 0,01$). Como a distribuição normal foi rejeitada, optou-se pelo teste não-paramétrico de Mann-Whitney ($p = 0,01$) para verificação da existência de diferenças significativas entre as altitudes dos topos dos murundus e das superfícies adjacentes aos campos.

RESULTADOS

Os 197 Campos de Murundus (CM) identificados no Distrito Federal (DF) (Figura 2) apresentaram área média de $33,3 \pm 69,7$ ha e borda média de $2,7 \pm 2,9$ km. Apesar da variabilidade dos valores calculados para as métricas de paisagem, o cálculo de suficiência amostral apontou que os 197 campos identificados são representativos para uma população hipotética de até 10.000 CM com nível de confiança de 95% e 10% de erro amostral, sendo significativamente representativos para o presente estudo.

Os CM identificados somaram uma área total 6.556 ha, correspondendo a 1,2% da área do território distrital. Verificou-se que aproximadamente 90% dos CM identificados possuíam área menor do que 100 ha e borda inferior a 5 km. Apenas um CM identificado (CM_153) apresentou área superior a 300 ha e borda superior a 15 km (Tabela 1).

Figura 2 - Campos de Murundus (CM) identificados no Distrito Federal (DF) e CM selecionados para caracterização da estrutura interna



Fonte: Os autores (2025), com base em SEDUH/GDF (2009).

Tabela 1 - Resultados das métricas de paisagem dos Campos de Murundus (CM)

Métrica (unidade)	Valor
Número de Campos de Murundus (unidade)	197
Área média (ha)	33,3 ± 69,7
Área total (ha)	6.556,1
Borda média (km)	2,7 ± 2,9
Total de bordas (km)	529,2
Densidade de borda (m.ha ⁻¹)	80,7
Índice de forma médio (adimensional)	1,5 ± 0,4
Dimensão fractal média (adimensional)	1,28 ± 0,04
Razão perímetro-área média (adimensional)	0,02 ± 0,01
Distância média do vizinho mais próximo (km)	0,86 ± 1,58
Índice de proximidade médio (adimensional)	36,5 ± 315,7

Fonte: Os autores (2025).

Estrutura de Campos de Murundus

A área dos quatro CM selecionados para caracterização somou 193 ha e aproximadamente 10,2 mil murundus foram delimitados para cálculo das métricas de estrutura desses ambientes (Tabela 2 e Figura 3). Apesar de apresentarem variações semelhantes nas métricas calculadas, alguns conjuntos de murundus são discrepantes de seus pares em determinados aspectos estruturais,

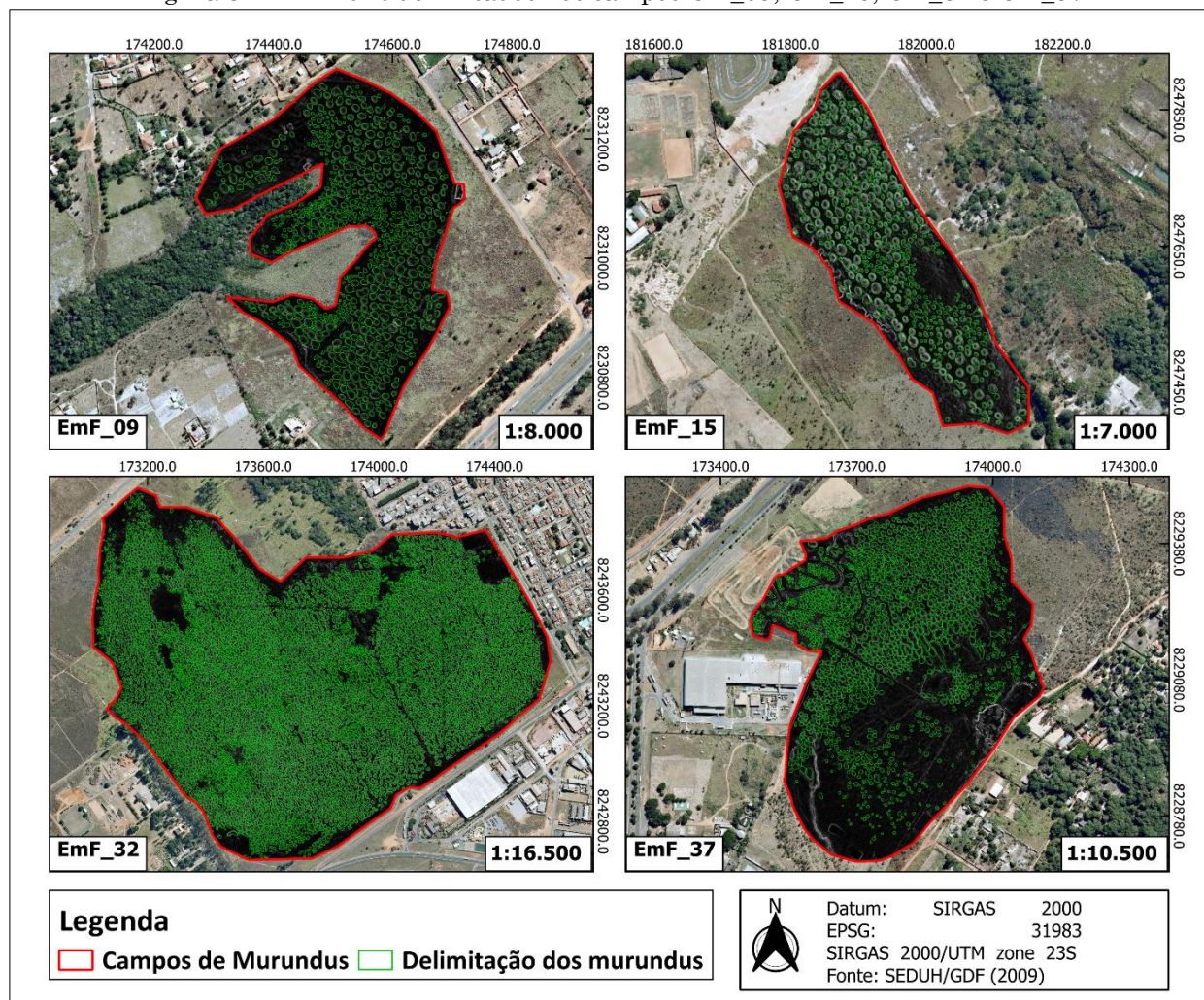
como o CM_15, que apresentou densidade de ocupação de murundus 32% menor do que a média dos outros. Além disso, observa-se que o CM_32 apresentou área total quase sete vezes superior à média dos demais campos, apresentando também murundus maiores e mais volumosos. Os Índices de Dispersão de Clark e Evans indicaram que os montículos dos quatro campos selecionados são distribuídos de forma não aleatória e dispersa nesses ambientes.

Tabela 2 - Métricas descritivas da estrutura dos Campos de Murundus selecionados por campo

Métrica	Campo de Murundus			
	CM_09	CM_15	CM_32	CM_37
Área total do campo (ha)	14,00	11,26	133,26	34,45
Número de murundus (unidade)	778	444	7.350	1.620
Densidade de ocupação (murundus.ha ⁻¹)	56	39	55	47
Total de bordas (m)	20.124	12.232	260.187	44.577
Densidade de bordas (m.ha ⁻¹)	4.394,6	4.432,6	3.796,1	4.543,0
Área média (m ²)	58,8 ± 52,7	62,0 ± 50,3	93,1 ± 63,5	60,5 ± 51,6
Altura média (m)	0,7 ± 0,4	0,9 ± 0,4	1,0 ± 0,4	0,7 ± 0,4
Volume médio (m ³)	19,4 ± 24,1	22,6 ± 26,5	39,2 ± 34,8	17,7 ± 21,1
Índice de Forma Médio (adimensional)	1,049 ± 0,05	1,063 ± 0,06	1,080 ± 0,09	1,072 ± 0,08
Dimensão Fractal Média (adimensional)	1,779 ± 0,24	1,746 ± 0,22	1,650 ± 0,16	1,750 ± 0,21
Distância média do vizinho mais próximo (m)	1,7 ± 1,3	1,5 ± 2,0	0,8 ± 1,2	1,4 ± 2,4
Índice de dispersão de Clark e Evans (adimensional)	1,4	1,2	1,5	1,2

Fonte: Os autores (2025).

Figura 3 - Murundus delimitados nos campos CM_09, CM_15, CM_32 e CM_37



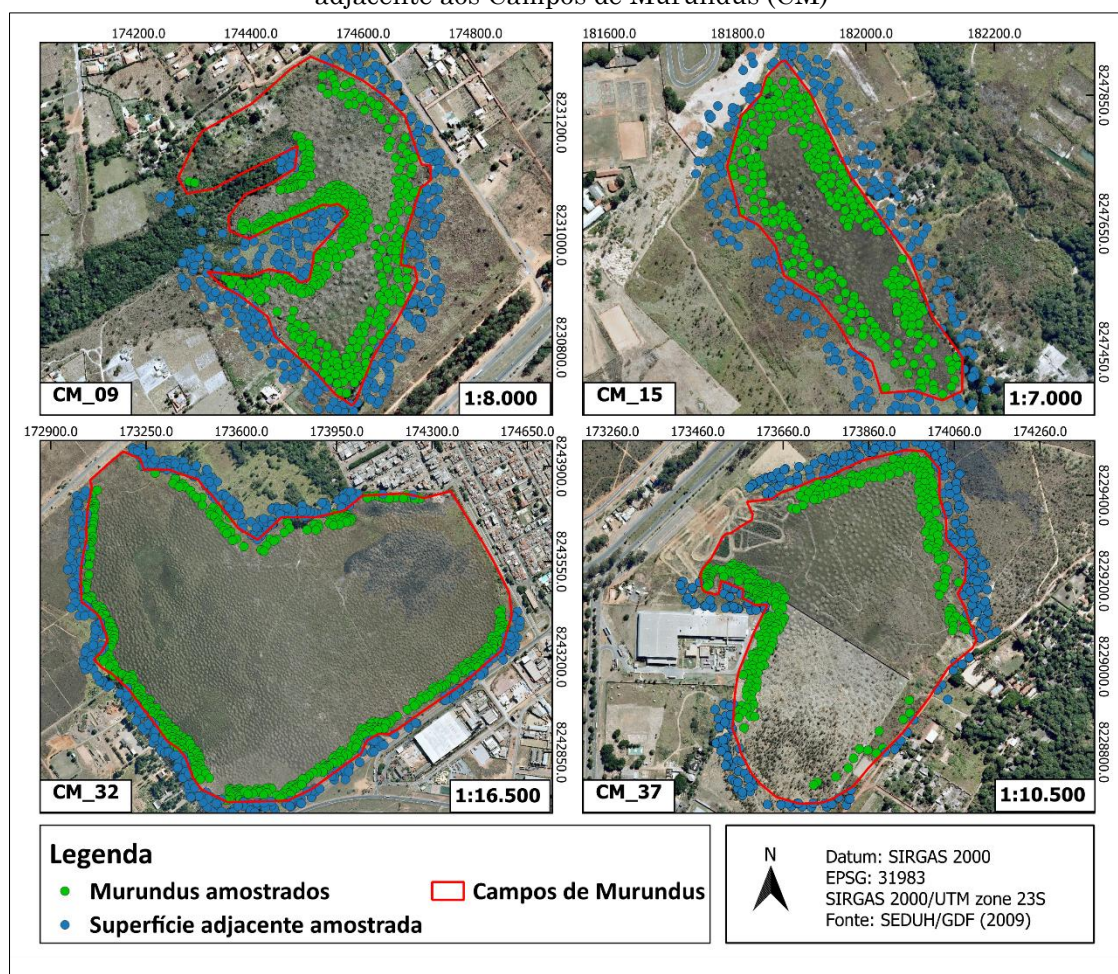
Fonte: Os autores (2025), com base em SEDUH/GDF (2009).

Variação altimétrica de murundus e da superfície adjacente

Nos *buffers* internos foram contabilizados 382 montículos no CM_09, 260 montículos no CM_15, 477 no CM_32 e 279 no CM_37. Logo, outros 382, 260, 477 e 279 pontos foram delimitados nas superfícies adjacentes aos respectivos CM (Figura 4) para comparação altimétrica dos ambientes. É importante

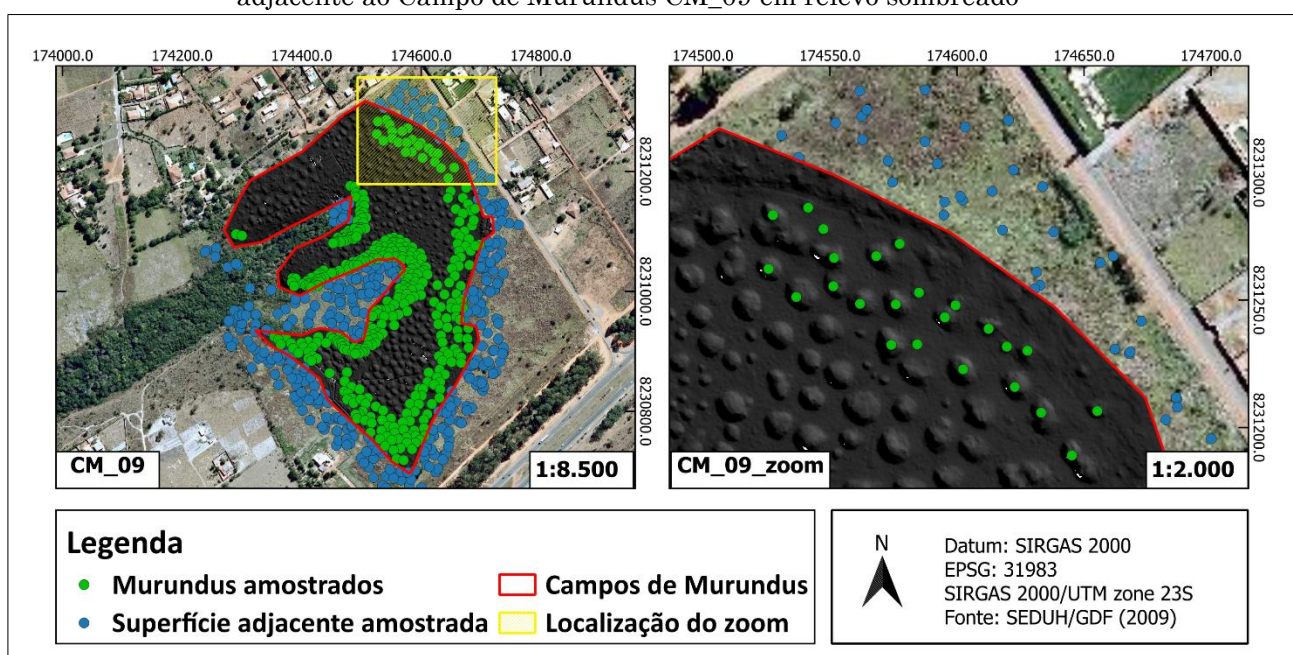
destacar a exclusão de áreas antropizadas conforme o mapeamento da SEDUH/GDF (2021), impedindo a amostragem altimétrica em áreas construídas e evitando a influência de superfícies urbanizadas (Figura 5). As altitudes medidas nos topos dos murundus e nas superfícies adjacentes aos campos não apresentaram diferenças estatísticas significativas pelo teste de Mann-Whitney (Figura 6).

Figura 4 - Pontos de amostragem de altitudes nos topos dos murundus e na superfície externa adjacente aos Campos de Murundus (CM)



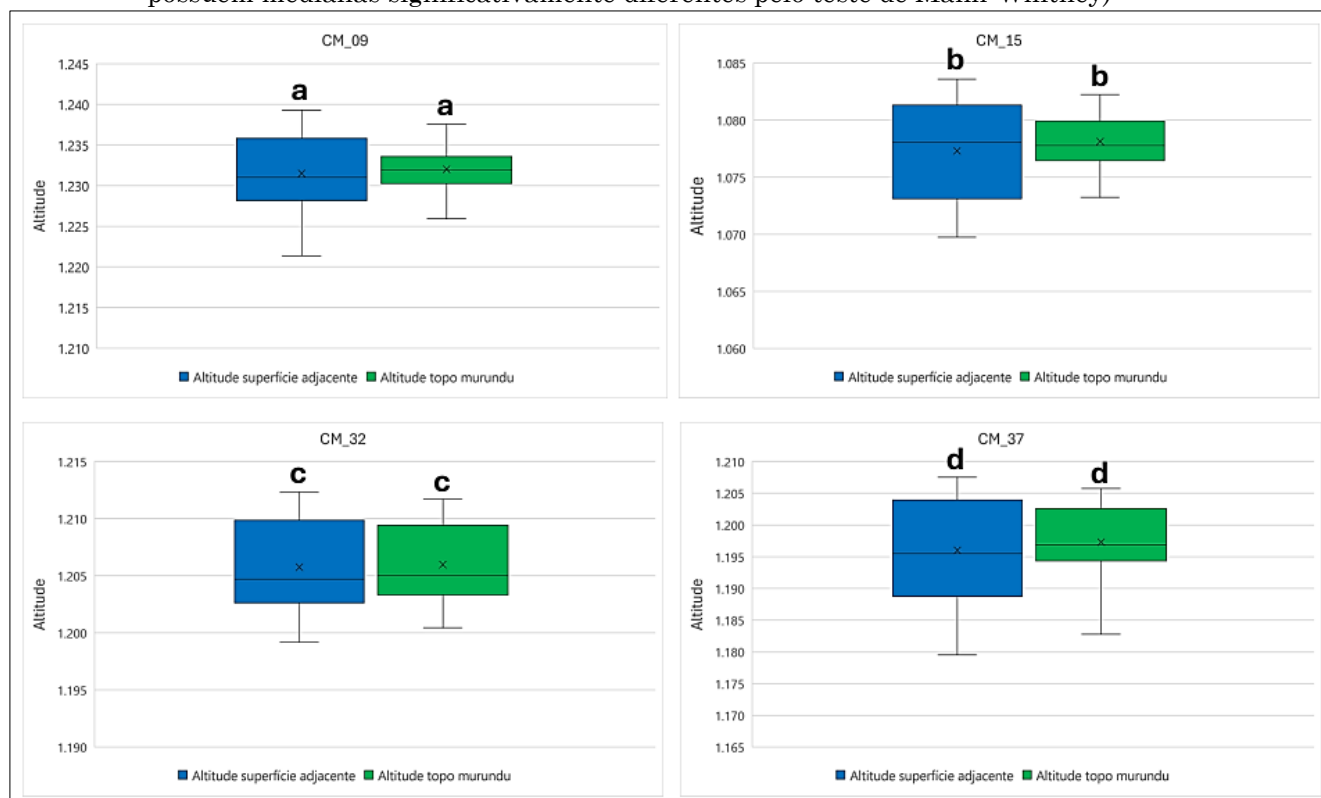
Fonte: Os autores (2025), com base em SEDUH/GDF (2009).

Figura 5 – Pontos de amostragem de altitudes nos topos dos murundus e sobre a superfície externa adjacente ao Campo de Murundus CM_09 em relevo sombreado



Fonte: Os autores (2025), com base em SEDUH/GDF (2009).

Figura 6 - Distribuições das altitudes (m) medidas nos topos dos murundus e sobre a superfícies externas adjacentes aos Campos de Murundus (diagramas acompanhados pelas mesmas letras não possuem medianas significativamente diferentes pelo teste de Mann-Whitney)



Fonte: Os autores (2025).

DISCUSSÃO

Os Campos de Murundus (CM) no Distrito Federal (DF) se associam principalmente a solos de origem hidromórfica e a declividades de 2 a 5%, que favorecem o escoamento superficial lento de água (Lima; Corrêa, 2021), reforçando a hipótese de que sua formação envolve o processo de erosão hídrica diferencial (Silva *et al.*, 2010). O escoamento superficial de água, moldando a paisagem por meio da erosão, tornariam os CM alongados e o índice de forma médio verificaria essa característica desses ambientes. Essa métrica quantifica a complexidade do contorno dos fragmentos (Lang; Tiede, 2003). Fragmentos perfeitamente circulares possuem índice de forma igual a 1 e aumenta à medida que a forma do fragmento se torna mais alongada, irregular e complexa (McGarigal; Marks, 1995).

Fitofisionomias que acompanham o curso de rios, como Matas de Galeria e Matas Ciliares (Ribeiro; Walter, 2008), possuem formas mais alongadas e lineares, resultando em valores de índices de forma superiores a 1. Ao avaliar a fragmentação da cobertura natural do DF,

Neves *et al.* (2013) calcularam o índice de forma de 2,6 para as Matas de Galerias da região. Verificou-se que florestas ripárias com nenhuma ou pouca antropização em outros biomas possuem índice de forma de 2,0 (Riedler *et al.*, 2013) a 2,3 (Aguilar *et al.*, 2011). Por sua vez, rios, que apresentam as ocorrências naturais mais alongadas possíveis, possuem valor aproximado de 4,4 para esse índice (Vasilică-Dănuț *et al.*, 2019).

Em 2009, os CM estudados apresentaram índice de forma médio de 1,5, situando-se como intermediário entre a forma perfeitamente circular e a vegetação ripária. Ao agrupar os CM em quartis, segundo a variação do índice de forma, verificou-se que os CM pertencentes ao quartil com os maiores índices de forma apresentaram valor médio de 2,1, aproximando-os da forma de ambientes ripários (Aguilar *et al.*, 2011; Neves *et al.*, 2013; Riedler *et al.*, 2013). Em uma segunda abordagem de agrupamentos em quartis, desta vez segundo a variação de tamanho dos CM, verificou-se que aqueles pertencentes ao quartil com as maiores áreas possuem índice de forma médio de 1,8. Dessa forma, os CM com as maiores áreas tendem a

apresentar formatos mais alongados, fato que sugere ação mais intensa da erosão hídrica, pela maior rampa de escoamento de água.

O índice de forma médio dos CM corrobora a hipótese de que a gênese desses ambientes é resultado da dinâmica hídrica (Silva *et al.*, 2010), uma vez que o escoamento superficial é um processo natural capaz de conferir a essas áreas formatos tão alongados quanto os de ambientes ripários. Considerando que a dinâmica hídrica dos CM, caracterizada, dentre outros aspectos, pelo escoamento superficial da água (Castro Júnior, 2002) e pelo fluxo lateral subsuperficial de água (Fulan *et al.*, 2020), tais fatores explicam a forma encontrada nos CM do DF avaliados neste trabalho.

As métricas que caracterizam a ocupação, a morfologia e a dispersão dos murundus são compatíveis com outros estudos que investigaram esses ambientes. Nesse sentido, a densidade de ocupação encontrada de 39 - 56 murundus.ha⁻¹ é compatível com os valores encontrados por Araujo Neto *et al.* (1986) no DF e Sales *et al.* (2021) em Minas Gerais, que relataram 26 - 61 e 36 murundus.ha⁻¹, respectivamente. A área média basal dos murundus de 59 - 93 m² é próxima das dimensões das áreas médias de 82 - 150 m² relatadas por Araújo Neto (1981) no DF, ≤ 10 - 70 m² verificados por Silva, Borges e Rodrigues (2020) em Minas Gerais e 103 m² apontados por Sales *et al.* (2021), também em Minas Gerais.

A altura média observada de 0,7 - 1 m dos montículos é parcialmente compatível com as alturas de 0,05 - 2 m relatadas por Araujo Neto *et al.* (1986), 0,7 m verificada por Silva *et al.* (2020) e de 1,3 m relatada por Sales *et al.* (2021). O volume médio de 18 - 39 m³ apresentado pelos montículos dos campos investigados é compatível com os valores de 0,01 - 141 m³ descrito por Araujo Neto *et al.* (1986), de 21 m³ relatado por Silva *et al.* (2020) e de 0,4 - 286 m³ exposto por Sales *et al.* (2021). Por fim, a distância média do murundu mais próximo de 0,8 - 1,7 m é concordante com a relatada por Sales *et al.* (2021) de 0,2 - 18 m.

Algumas métricas calculadas para os CM identificados neste trabalho forneceram subsídios para se refutar a hipótese biótica de origem dessa fitofisionomia. O Índice de Dispersão de Clark e Evans para os murundus, com valor médio de 1,30, não é compatível com o valor de 0,86 relatado por Kreutz *et al.* (2010) para termiteiros da espécie *Armitermes cerradoensis*, que seria responsável pela localização dos murundus sob a perspectiva da hipótese biótica. Esses resultados indicam que

os murundus têm uma distribuição não aleatória e dispersa, enquanto os termiteiros de *Armitermes cerradoensis* apresentam padrão agregado.

Da mesma forma, as espécies *Cornitermes snyderi* e *Cornitermes silvestrii*, descritas como sinônimas por Cancellato (1989) e Valério (2006), possuem termiteiros de formato achatado, crescendo mais em largura do que em altura (Valério, 2006). Ao investigar a ocorrência de espécies de cupins em pastagens, Czepak, Araújo e Fernandes (2003) verificaram maior ocorrência de termiteiros de *Cornitermes snyderi*, com área média de 0,54 m² e valor máximo de 0,80 m². Segundo Mathews (1977), termiteiros de *Cornitermes snyderi* podem alcançar área basal e 0,80 m², mas esses valores contrastam com a área basal dos murundus nos CM investigados, cuja área basal média foi mais de setenta vezes superior. Dentre os 10,2 mil murundus mapeados neste trabalho, o menor deles apresentou área de 2,3 m², valor quatro vezes superior à área média de termiteiros de *Cornitermes snyderi* (Czepak *et al.* 2003).

Ainda no âmbito das características morfológicas desses montículos e sua compatibilidade com a hipótese de origem pela ação de térmitas, verificou-se que o volume dos murundus e de termiteiros de *Cornitermes snyderi* diferem significativamente. Estima-se, pelas dimensões de termiteiros relatadas por Mathews (1977) e Czepak *et al.* (2003), que os ninhos dessa espécie alcancem volume máximo de 0,21 m³. Todavia, o volume médio dos murundus mapeados é cerca de cem vezes superior a esse valor. Observa-se que apenas 0,6% dos 10,2 mil murundus mapeados apresentaram volume inferior ou igual aqueles relatado por Mathews (1977) e Czepak *et al.* (2003) para termiteiros de *Cornitermes snyderi*.

A hipótese abiótica para a gênese dos CM analisados no DF é corroborada pela análise altimétrica desses ambientes. Nesse sentido, constatou-se que há continuidade altimétrica entre as superfícies externas adjacentes aos CM e os topos dos murundus localizados nas bordas dos campos, uma vez que não se detectaram diferenças altimétricas significativas entre esses conjuntos. O alinhamento entre os topos dos murundus e a superfície dos terrenos adjacentes indica novamente que o terreno no entorno dos montículos foi rebaixado, e que murundus são estruturas remanescentes de erosão diferencial (Araujo Neto *et al.*, 1986; Furley, 1986; Silva *et al.*, 2010). Sales *et al.* (2021) também constataram que os topos dos murundus se alinhavam com o planalto circundante ao campo por eles analisado.

Outros estudos desenvolvidos em épocas diferentes no DF corroboram Sales *et al.* (2021) e os resultados aqui encontrados (Furley, 1986; Silva *et al.*, 2010). Investigações de campo conduzidas no DF entre 1976 e 1986 constataram que o fluxo e a infiltração lateral de água minaram as margens superiores dos CM estudados, levando à criação de novos murundus (Furley, 1986). O mesmo trabalho é pioneiro ao citar a existência da continuidade altimétrica entre os cumes de murundus e a superfície do terreno adjacente.

Estudo desenvolvido duas décadas mais tarde por Silva *et al.* (2010) hipotetizou que se os murundus foram elevados por térmitas a partir da superfície úmida, ocupada por Campo Úmido, a matéria orgânica abaixo dessas estruturas deveria apresentar assinatura isotópica de espécies vegetais C₄, que contrasta com a assinatura C₃ + C₄ de formações savânicas. Levantamento fitossociológico da vegetação sobre os murundus e a análise textural e química do solo complementaram a hipótese formulada. Os resultados indicaram que a composição florística da comunidade vegetal sobre os murundus, a textura e a fertilidade química do solo, bem como a composição isotópica da matéria orgânica eram de área outrora ocupada por formação savânica de Cerrado. Dessa forma, as evidências apontaram que os murundus foram formados pela erosão diferencial do solo (Silva *et al.*, 2010).

Sob a perspectiva da hipótese biótica, a elevação dos montículos por térmitas deveria ter ascendido o topo dos murundus investigados acima da superfície do terreno adjacente, conforme explicado por Ponce e Cunha (1993). Todavia, essa elevação altimétrica não ocorreu nos montículos analisados neste trabalho e em outros estudos (Furley, 1986; Sales *et al.* 2021; Silva *et al.*, 2010).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pela pouca área relativa que ocupam na paisagem, os Campos de Murundus (CM) se apresentaram como a fitofisionomia mais rara dentre as quatorze existentes no Distrito Federal (DF), representando somente 1,2% da área do território distrital. A hipótese abiótica de gênese dessa fitofisionomia, como resultado da erosão hídrica, foi reforçada pelos resultados encontrados neste trabalho, pois se constataram nos CM estudados configurações compatíveis com o escoamento superficial de água e similaridades compatíveis com as formas

alongadas de ambientes ripários. Da mesma forma, os resultados aqui encontrados não corroboram a hipótese de que CM sejam construídos pela ação sucessiva de diferentes espécies de térmitas. As métricas relacionadas à dispersão dos murundus no campo, o volume e a área basal deles não são compatíveis com as características dos termiteiros das espécies relatadas como construtoras dos murundus. Além disso, a continuidade altimétrica entre os topos dos murundus e as superfícies externas adjacentes aos campos refuta a hipótese biótica e reforça a hipótese abiótica de formação dos murundus nessa fitofisionomia.

FINANCIAMENTO

Edital DPG/UNB Nº 0007/2021. Edital de apoio à execução de projetos de pesquisas científicas, tecnológicas e de inovação de discentes de pós-graduação. Órgão de Fomento: Universidade de Brasília (UnB). Beneficiário: Thyego Pery Monteiro de Lima. Processo SEI 23106.117650/2021-43.

Edital DPG Nº 0011/2022. Edital de apoio à execução de projetos de pesquisas científicas, tecnológicas e de inovação de discentes de pós-graduação. Órgão de Fomento: Universidade de Brasília (UnB). Beneficiário: Thyego Pery Monteiro de Lima. Processo SEI 23106.140369/2022-95.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, F.C.; FERNANDES, M. R.; FERREIRA, T. M. Riparian vegetation metrics as tools for guiding ecological restoration in riverscapes. **Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems**, v. 402, n. 21, p. 1–12, 2011. <https://doi.org/10.1051/kmae/2011074>.
- ARAÚJO NETO, M. D. **Solos, água e relevo dos Campos de Murundus na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal**. 1981. 112 f. Dissertação (Mestrado em Biologia) - Universidade de Brasília, 1981.
- ARAÚJO NETO, M. D.; FURLEY, P.; HARIDASAN, M.; JOHNSON, C. The murundus of the Cerrado region of Central Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v.2, n. 1, p. 17–35, 1986. <https://doi.org/10.1017/S0266467400000559>.

- BAPTISTA, G. M. M.; CORRÊA, R. S.; SANTOS, P. F. Campos de Murundus da Fazenda Água Limpa da UnB: hipóteses de origem. **Revista do CEAM**, v. 2, n. 1, p. 47–60, 2013.
- BARBOSA, F. L. R.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GOMES, R. A. T.; LIMA, E. A. Potencialidades e Limitações do Uso de Informações Altimétricas Provenientes de Perfilamento à Laser em Ambiente Urbano. **Caminhos de Geografia**, v. 22, n. 84, p. 301–322, 2021. <https://doi.org/10.14393/rcg228457243>.
- CANCELLO, E. M. **Revisão de Cornitermes wasmann** (Isoptera, Termitidae, Nasutitermitinae). 1989. 151 f. Tese (Doutorado em Zoologia) - Universidade de São Paulo, 1989.
- CASTRO JÚNIOR, P. R. **Dinâmica da Água em Campos de Murundus do Planalto dos Parecis**. 2002. 193 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, 2002.
- COLE, M. M. Cerrado, Caatinga and Pantanal: the distribution and origin of savanna vegetation of Brazil. **Geographical Journal**, v. 126, p. 168–179, 1960. <https://doi.org/10.2307/1793957>
- CZEPAK, C.; ARAÚJO, E. A.; FERNANDES, P. M. Ocorrência de espécies de cupins de montículo em pastagens no estado de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 33, n. 1, p. 35–38, 2003.
- EITEN, G. The Cerrado vegetation of Brazil. **The Botanical Review**, v. 38, p. 201–341, 1972. <https://doi.org/10.1007/BF02859158>
- ESTORNELL, J.; RUIZ, L. A.; VELÁZQUEZ-MARTÍ, B.; HERMOSILLA, T. Analysis of the factors affecting lidar dtm accuracy in a steep shrub area. **International Journal of Digital Earth**, v. 4, n. 6, p. 521–538, 2011. <https://doi.org/10.1080/17538947.2010.533201>
- FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P.; SILVA, F. L.; CHAN, B. L. **Análise de dados** - Modelagem Multivariada para tomada de decisões. 1st ed. Rio de Janeiro-RJ: Elsevier, 2009.
- FURLAN, L. M.; ROSOLEN, V.; SALLES, J.; MOREIRA, C. A.; FERREIRA, M. E.; BUENO, G. T.; COELHO, C. V. S.; MOUNIER, S. Natural superficial water storage and aquifer recharge assessment in Brazilian savanna wetland using unmanned aerial vehicle and geophysical survey. **Journal of Unmanned Vehicle Systems**, v. 8, n. 3, p. 224–244, 2020. <https://doi.org/10.1139/juvs-2020-0004>.
- FURLEY, P. A. Classification and distribution of murundus in the Cerrado of central Brazil. **Journal of Biogeography**, v. 13, n. 3, p. 265–268, 1986. <https://doi.org/10.2307/2844925>.
- GKYER, E. Understanding Landscape Structure Using Landscape Metrics. In: ÖZYAVUZ, M. (ed.). **Advances in Landscape Architecture**. London: IntechOpen, 2013. <https://doi.org/10.5772/55758>
- INMET. **Normais Climatológicas 1991-2020**. Brasília-DF: [s. n.], 2022. Disponível em: https://clima.inmet.gov.br/NormaisClimatologicas/19611990/precipitacao_acumulada_mensal_anual. Acesso em: 15 de julho de 2023.
- ISENBURG, M.; OLAYA, V. LASTools - tools for processing point clouds in LAS, LAZ, and ASCII formats. 2019. Disponível em: <http://rapidlasso.com/LAStools/>. Acesso em: 20 fev. 2023.
- KREUTZ, C.; SÁ, D.; RAMON, D.; FENKER, J.; BARTASSON, L.; CONSTANTINO, R. Relatório de Grupo - Determinação de padrões de distribuição espacial de termiteiros de *Armitermes cerradoensis* e *Cornitermes silvestrii* (TERMITIDAE), em uma área de Cerrado, Nova Xavantina, MT. [Nova Xavantina: UNEMAT], 2010. Disponível em: <http://portal.unemat.br/?pg=site&i=ppgec&m=eventos-e-cursos-de-extensao&c=mestrado-2010>. Acesso em: 11 out. 2023.
- LANG, S.; TIEDE, D. vLATE Extension für ArcGIS – vektorbasiertes Tool zur quantitativen Landschaftsstrukturanalyse. **ESRI European User Conference 2003** Innsbruck, 2003. Disponível em: <http://downloads2.esri.com/campus/uploads/library/pdfs/68464.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2021.
- LIMA, T. P. M. **Avaliação de processos de formação de Campos de Murundus no Distrito Federal por meio da análise de elementos da paisagem**. 2023. 166 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade de Brasília, 2023.
- LIMA, T. P. M.; CORRÊA, R. S. Ocorrência de campos de murundus na paisagem do cerrado do Distrito Federal. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 9, p. 536–546, 2021. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.009.0041>.

- LONGO, R. M.; SILVA, A. L.; CARVALHO, M. M.; RIBEIRO, A. I. Métricas da paisagem e qualidade ambiental nos remanescentes florestais do Ribeirão Quilombo em Campinas/SP. **Ciência Florestal**, v. 34, n. 1, p. 1–22, 2024. <https://doi.org/10.5902/1980509871899>.
- MATHEWS, A. G. A. **Studies on termites from the Mato Grosso State, Brazil**. Rio de Janeiro-RJ: Academia Brasileira de Ciência, 1977.
- MCGARIGAL, K.; MARKS, B. J. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. General Technical Report - US Department of Agriculture, Forest Service, no. PNW-GTR-351, 1995. <https://doi.org/10.2737/PNW-GTR-351>.
- MCGLONE, J. C. Manual of Photogrammetry. 5th ed. [S. l.]: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2004.
- MENDONÇA, R. L.; PAZ, A. R. LiDAR data for topographical and river drainage characterization: capabilities and shortcomings. **Brazilian Journal of Water Resources**, v. 27, n. 42, 2022.
- NEVES, G.; COUTO JUNIOR, A. F.; ASSIS, T.; REATTO, A.; MARTINS, E. S.; GOMES, M. p.; SENA-SOUZA, J. P. Avaliação da fragmentação da cobertura natural em uma bacia experimental no Cerrado. In: **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2013. Anais [...]. Foz do Iguaçu: 2013. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0434.pdf>. Acesso em: 13 out. 2023.
- OLIVEIRA-FILHO, A. T. Floodplain ‘Murundus’ of Central Brazil: Evidence For The Termite-Origin Hypothesis. **Journal of Tropical Ecology**, v. 8, n. 1, p. 1–19, 1992. <https://doi.org/10.1017/S0266467400006027>.
- OLIVEIRA, I. J. Chapadões Descerrados: Relações Entre Vegetação, Relevo E Uso Das Terras Em Goiás. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 34, n. 2, p. 311–336, 2014. <https://doi.org/10.5216/bgg.v34i2.31734>.
- PONCE, V. M.; CUNHA, C. N. Vegetated Earthmounds in Tropical Savannas of Central Brazil: A Synthesis: With Special Reference to the Pantanal do Mato Grosso. **Journal of Biogeography**, v. 20, n. 2, p. 219–225, 1993. <https://doi.org/10.2307/2845673>
- REDCATCH GMBH. Volume Calculation Tool. 2022. Disponível em: https://plugins.qgis.org/plugins/volume_calculation_tool/. Acesso em: 27 mar. 2023.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (eds.). **Cerrado: Ecologia e flora**. 1st ed. Planaltina-DF: Embrapa Cerrados, 2008. p. 151–212.
- RIBEIRO, M. P.; MELLO, K.; VALENTE, R. A. Avaliação da estrutura da paisagem visando à conservação da biodiversidade em paisagem urbanizada. **Ciência Florestal**, v. 30, n. 3, p. 819–834, 2020. <https://doi.org/10.5902/1980509837683>.
- RIEDLER, B.; STRASSER, T.; PERNKOPF, L.; TIEDE, D.; LANG, S. Habitat Quality Analysis of Natura 2000 Riparian Forests. In: JEKEL, T.; CAR, A.; STROBL, J.; GRIESEBNER, G. (eds.). **GI_Forum 2013 - Creating the GISociety. Berlim-Alemanha: Wichmann Verlag**, 2013. v. 1, p. 540–543. <https://doi.org/10.1553/giscience2013s540>.
- SALES, J. C. **Estrutura e funcionamento de um campo de murundus da Savana Brasileira**. 2021. 138 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, 2021.
- SALES, J. C.; BUENO, G. T.; ROSOLEN, V.; FERREIRA, M. E.; FURLAN, L. M. The structure of an earth-mound field of the Brazilian Savanna. **Geomorphology**, v. 386, p. 107752, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107752>.
- SALES, J. C.; FERREIRA, M. E.; BUENO, G. T.; ROSOLEN, V. Delimitação de Microrrelevos de Murundus com Veículos Aéreos Não Tripulados. In: **Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2019. Anais [...]. Santos: 2019.
- SEDUH/GDF. Mapa de Uso e Cobertura do Solo do Distrito Federal (DF) para o ano de 2019. Brasília-DF, 2021. Disponível em: <https://www.geoportal.seduh.df.gov.br/geoportal/>. Acesso em: 22 jul. 2022.
- SEDUH/GDF. Ortofoto do DF de 2009. Brasília-DF, 2009. Disponível em: <https://www.geoportal.seduh.df.gov.br/mapa/#>. Acesso em: 22 jul. 2022.
- SILVA, G. A.; BORGES, M. S.; RODRIGUES, S. C. Avaliação geomorfológica de campo de

- murundus no Chapadão do Diamante, Serra da Canastra, Minas Gerais, Brasil. **Caderno de Geografia**, v. 30, n. 1, p. 36–51, 2020. <https://doi.org/10.5752/p.2318-2962.2020v30nesp1p36-51>.
- SILVA, L. C. R.; VALE, G. D.; HAIDAR, R. F.; STERNBERG, L. S. L. Deciphering earth mound origins in central Brazil. **Plant and Soil**, v. 336, p. 3–14, 2010. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0329-y>.
- SOUZA, C. M.; SHIMBO, J. Z.; ROSA, M. R.; PARENTE, L. L.; ALENCAR, A. A.; RUDORFF, B. F.T.; HASENACK, H.; MATSUMOTO, M.; FERREIRA, L. G.; SOUZA-FILHO, P. W.M.; OLIVEIRA, S. W.; ROCHA, W. F.; FONSECA, A. V.; MARQUES, C. B.; DINIZ, C. G.; COSTA, D.; MONTEIRO, D.; ROSA, E. R.; VÉLEZ-MARTIN, E.; ... AZEVEDO, T. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in brazilian biomes with landsat archive and earth engine. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, 2020. <https://doi.org/10.3390/RS12172735>.
- TERRACAP. Mapeamento Aerofotogramétrico das áreas urbanas do Distrito Federal – **Relatório Técnico do Produto 2**. Brasília-DF: [s. n.], 2016.
- TRIOLA, M. F. **Introdução à estatística: atualização da tecnologia**. 11th ed. Rio de Janeiro-RJ: LTC, 2013.
- VALÉRIO, J. R. Cupins-de-montículo em Pastagens. In: **Documentos Embrapa Gado de Corte**, 160, 2006. Campo Grande: 2006
- VASILICĂ-DĂNUȚ, H.; PETRUȚ-IONEL, B.; DUMITRU, M.; VASILE, E. Application of Landscape Metrics and Gis Techniques for Assessment of Land Use and Land Cover Changes in the Suceava River Basin, Romania. In: **Proceedings of the International Scientific Conference GEOBALCANICA 2019**, 2019. Proceedings [...]., Sofia: 2019. <https://doi.org/10.18509/gbp.2019.70>.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Thyego Pery Monteiro de Lima: Conceituação, Curadoria de Dados, Análise Formal, Escrita – Redação Original.

Rodrigo Studart Corrêa: Conceituação, Metodologia, Escrita – Revisão e Edição.



Este é um artigo de acesso aberto distribuído nos termos da Licença de Atribuição Creative Commons, que permite o uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que o trabalho original seja devidamente citado.