

Fitossítios: protocolo metodológico para mapeamento de áreas de alto valor para conservação

Phytosites: methodological mapping protocol for high conservation value areas

Luciano Cavalcante de Jesus França

Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG), Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Monte Carmelo (MG) e Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal (PPGCF), Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM)

<https://orcid.org/0000-0002-8885-972X>

luciano.franca@ufu.br

Jacqueline Bonfim e Cândido

Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG), Universidade Federal de Uberlândia (UFU) – Campus Monte Carmelo. Núcleo de Planejamento e Manejo Florestal (NUPLAMFLOR)

<https://orcid.org/0000-0003-1092-0444>

jacqueline.candido@ufu.br

Danielle Piuzana Mucida

Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal (PPGCF), Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM)

<https://orcid.org/0000-0002-5756-8081>

danielle.piuzana@ufvjm.edu.br

Luis Filipe Azevedo Curto Sousa Lopes

Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, Universidade da Beira Interior, Portugal

<https://orcid.org/0000-0002-5132-9258>

sousa.lopes@ubi.pt

Antônio Alberto Jorge Farias Castro

Departamento de Biologia, Universidade Federal do Piauí (UFPI), Brasil

<https://orcid.org/0000-0002-2349-3843>

albertojorgecastro@gmail.com

Vicente Toledo Machado de Moraes Junior

Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG), Universidade Federal de Uberlândia (UFU) – Campus Monte Carmelo. Líder do Núcleo de Planejamento e Manejo Florestal (NUPLAMFLOR) e do Centro de Formação em Educação Climática (CEFEC)

<https://orcid.org/0000-0001-5227-1951>

vicente.morais@ufu.br

Resumo

O termo "fitossítio" refere-se a unidades funcionais da paisagem vegetal dotadas de identidade ecológica própria. Estas unidades estão associadas à predominância ou exclusividade de uma determinada espécie botânica ou grupo funcional, desempenhando um papel estratégico na conservação da natureza. Este estudo apresenta a primeira proposta metodológica para a identificação e espacialização geográfica de fitossítios, utilizando dados de campo e análise geoespacial. O estudo de caso foi realizado no Parque da Matinha, em Monte Carmelo, Minas Gerais, onde espécies vegetais indicadoras como *Cyathea delgadii*, *Langsdorffia hypogaea* e *Taccarum peregrinum* foram empregadas para definição dos fitossítios. A abordagem proposta visa fornecer subsídios técnicos à conservação ambiental de espécies da flora e seus ecossistemas associados. Além disso, a metodologia se alinha a compromissos globais de sustentabilidade ambiental, como a criação de novas Unidades de Conservação, os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), o Acordo de Paris e a Campanha "Race to Zero", demonstrando seu potencial estratégico no enfrentamento à crise climática e na redução da perda da biodiversidade.

Palavras-chave: Biodiversidade; Biologia Vegetal; Densidade de Kernel; Manejo de Ecossistemas; Manejo da Paisagem.

Abstract

The term "*Phytosites*" refers to functional units of the plant landscape endowed with their own ecological identity. These units are associated with the predominance or exclusivity of a particular botanical species or functional group, playing a strategic role in nature conservation. This study presents the first methodological proposal for identifying and spatializing phytosites, utilizing field data and spatial analysis. The case study was conducted in Parque da Matinha, Monte Carmelo, Minas Gerais, where indicator plant species, such as *Cyathea delgadii*, *Langsdorffia hypogaea* and *Taccarum peregrinum* were used to define phytosites. The proposed approach aims to provide technical support for the environmental conservation of flora species and their associated ecosystems. Furthermore, the methodology aligns with global environmental sustainability commitments, such as the creation of new Conservation Units, the Sustainable Development Goals (SDGs), the Paris Agreement, and the "Race to Zero" Campaign, demonstrating its strategic potential in tackling the climate crisis and reducing biodiversity loss.

Keywords: Biodiversity; Plant Biology; Kernel Density; Ecosystem Management; Landscape Management.

1. Introdução

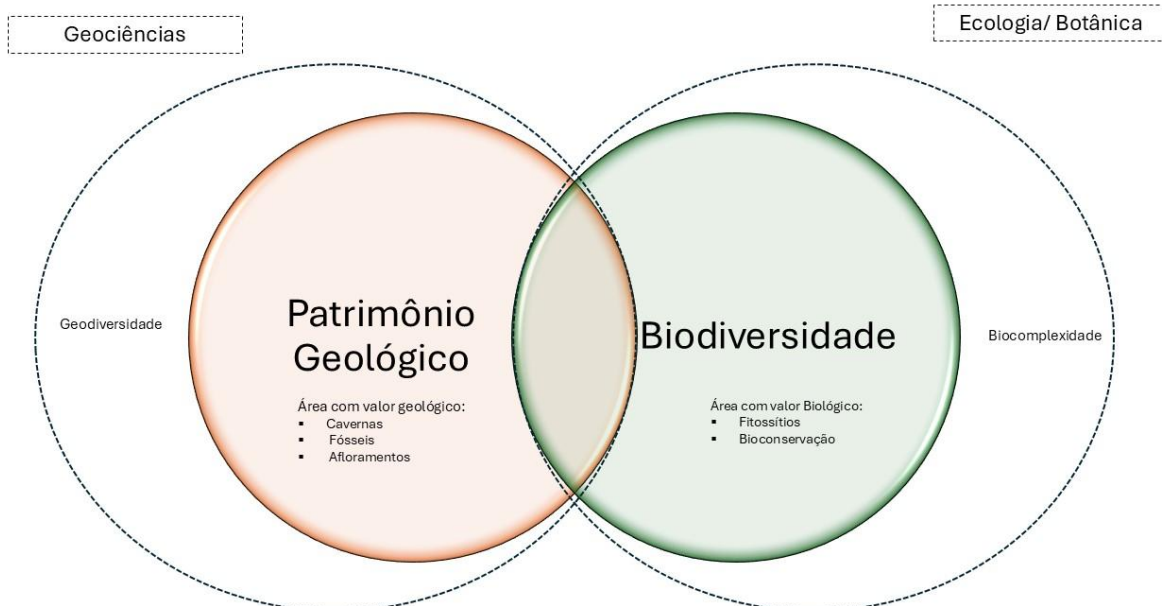
A crescente degradação dos ecossistemas naturais impõe a necessidade de novas ferramentas de diagnóstico e manejo ambiental. No âmbito da ecologia da paisagem, o conceito de fitossítio emerge como alternativa para o reconhecimento de sítios da paisagem com alto valor ecológico. Proposto por Castro *et al.* (2024) a partir de estudos no Parque Nacional de Sete Cidades, no estado do Piauí, o termo designa áreas de relevância para a flora, caracterizadas pela ocorrência exclusiva ou dominante de determinada espécie ou grupo funcional. De maneira sintética, o conceito de fitossítio refere-se à delimitação espacial de áreas

em uma região de interesse, com base na distribuição de atributos ecológicos que podem ser mapeados com relativa facilidade (Castro *et al.*, 2024). Este estudo propõe que os fitossítios correspondem às áreas ocupadas pelas populações de determinadas espécies vegetais, refletindo sua extensão e padrão de distribuição espacial no ambiente. Assim, é possível associar fitossítios aos padrões ecológicos de ocorrência e densidade das espécies indicadoras, conferindo-lhes valor como unidades funcionais da paisagem.

Para compreender o papel e a originalidade do conceito de fitossítio, é útil traçar um paralelo com o já consolidado conceito de geossítio, amplamente utilizado na geoconservação (Brilha, 2005; Lima *et al.*, 2010; Bruno *et al.*, 2014; Mariotto *et al.*, 2023) (Figura 1). Tanto geossítio(s) quanto fitossítio(s) integram uma lógica comum de reconhecimento e espacialização de elementos naturais com valor intrínseco, científico, ecológico ou didático. Enquanto os *geossítios* são áreas delimitadas por sua relevância geológica e compõem o patrimônio geológico dentro do escopo da geodiversidade (Brilha, 2005), os fitossítios representam unidades ecológicas baseadas na biodiversidade vegetal, particularmente na distribuição espacial de populações vegetais indicadoras, possuindo uma natureza aparentemente estática firmemente enraizada no solo (Castro *et al.*, 2024).

Essa analogia permite conceber os fitossítios compondo um campo ampliado de sítios naturais relevantes à conservação da natureza, a maneira como esses espaços se organizam na paisagem pode ser chamada de “*fitodesigners*”. Assim como os geossítios subsidiam inventários geológicos e estratégias de geoconservação em todo mundo (Brilha, 2016; Ferreira *et al.*, 2023; Ferreira *et al.*, 2024; Moura-Fé, 2024; Vieira, 2024).

Figura 1: Estrutura conceitual comparativa entre geossítios e fitossítios no contexto da conservação da natureza.



Org.: Os autores

Castro *et al.* (2024) define o conceito original de fitossítio, mas a forma de delimitação e mapeamento não foi estabelecida. Estes podem ser mapeados em termos de distribuição a partir de registros de coordenadas geográficas (latitude, longitude e altitude) de cada indivíduo

biológico. O autor também destaca em sua obra que os indivíduos (plantas) de qualquer população vegetal podem receber algum tipo de "marcador" ao nível de campo, com algum tipo de "mapa de distribuição" para representá-los. Mapeamentos desse tipo contribuiriam para diminuir a subjetividade dos tamanhos e formatos dos 'fitossítios'. Ressalta-se que o conceito de fitossítio desconsidera a observação de populações de espécies vegetais geneticamente distintas, e sim, o indivíduo ou o conjunto agrupado de indivíduos da espécie que o compõe.

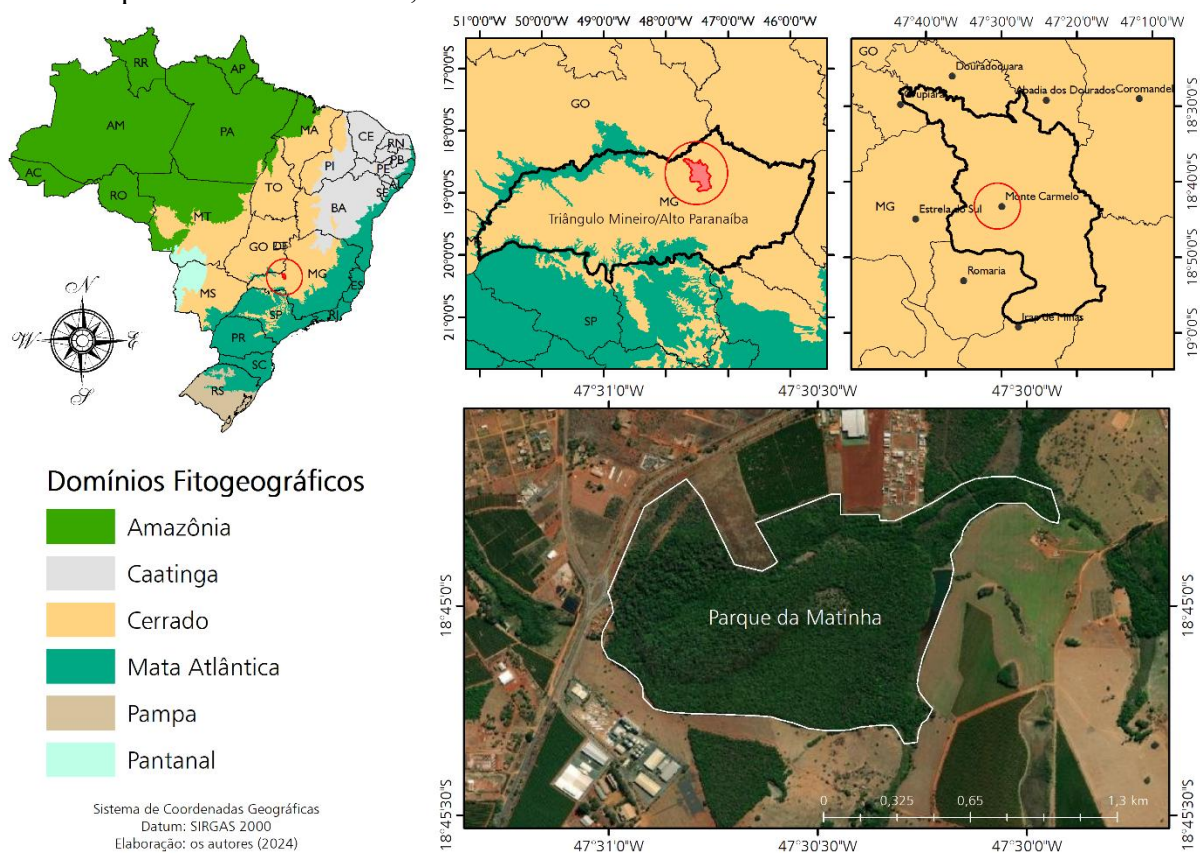
Diante disso, objetivou-se propor um protocolo metodológico geoespacial replicável para mapeamento e delimitação de fitossítios, adotando como estudo de caso o Parque da Matinha, localizado em Monte Carmelo, Minas Gerais, no sudeste brasileiro. A relevância desse estudo transcende o contexto local e regional, contribuindo diretamente para o embasamento de políticas públicas sobre a conservação ecológica e gestão territorial sustentável. Essa metodologia possui potencial para inserção em políticas públicas vinculadas à criação de Unidades de Conservação, Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, ao Acordo de Paris e à campanha *Race to Zero* (UNFCCC, 2015; Teixeira *et al.*, 2021; UNFCCC, 2023; Nações Unidas Brasil, 2025).

2. Materiais e métodos

2.1. Caracterização da área de estudo

O Parque da Matinha (18°45'1.47"S,47°30'32.71"O) está inserido no bioma Cerrado no sudeste brasileiro, na região geográfica do Triângulo Mineiro, município de Monte Carmelo, estado de Minas Gerais (Figura 2A, B, C). Possui uma área de aproximadamente 130 ha (Figura 2D), englobando cinco tipos de fitofisionomias: Floresta Estacional Semidecidual, Cerradão, Vegetação secundária de Floresta Semidecidual, Mata de Galerias e Cerrado *stricto sensu*, além de regiões de clareiras e pastagens (Figura 2C), resultados de pressão antrópica histórica na área (Lopes, *et al.*, 2011). A diversidade de ambientes propicia uma elevada riqueza florística, além de presença de nascentes e áreas de solo hidromórfico, que condicionam a ocorrência de espécies indicadoras (França *et al.*, 2024).

Figura 2: Área de estudo denominada “Parque da Matinha” no sudeste brasileiro, pertencente ao município de Monte Carmelo, no estado de Minas Gerais.



Fonte: Os autores.

Trata-se de um espaço de conservação municipal não institucionalizada caracterizada por elevada diversidade florística e presença de ecossistemas sensíveis. Estudo anterior sobre as fitofisionomias da área forneceram uma base importante para o refinamento da abordagem proposta (Lopes, *et al.*, 2011).

2.2. Procedimentos para mapeamento de fitossítios

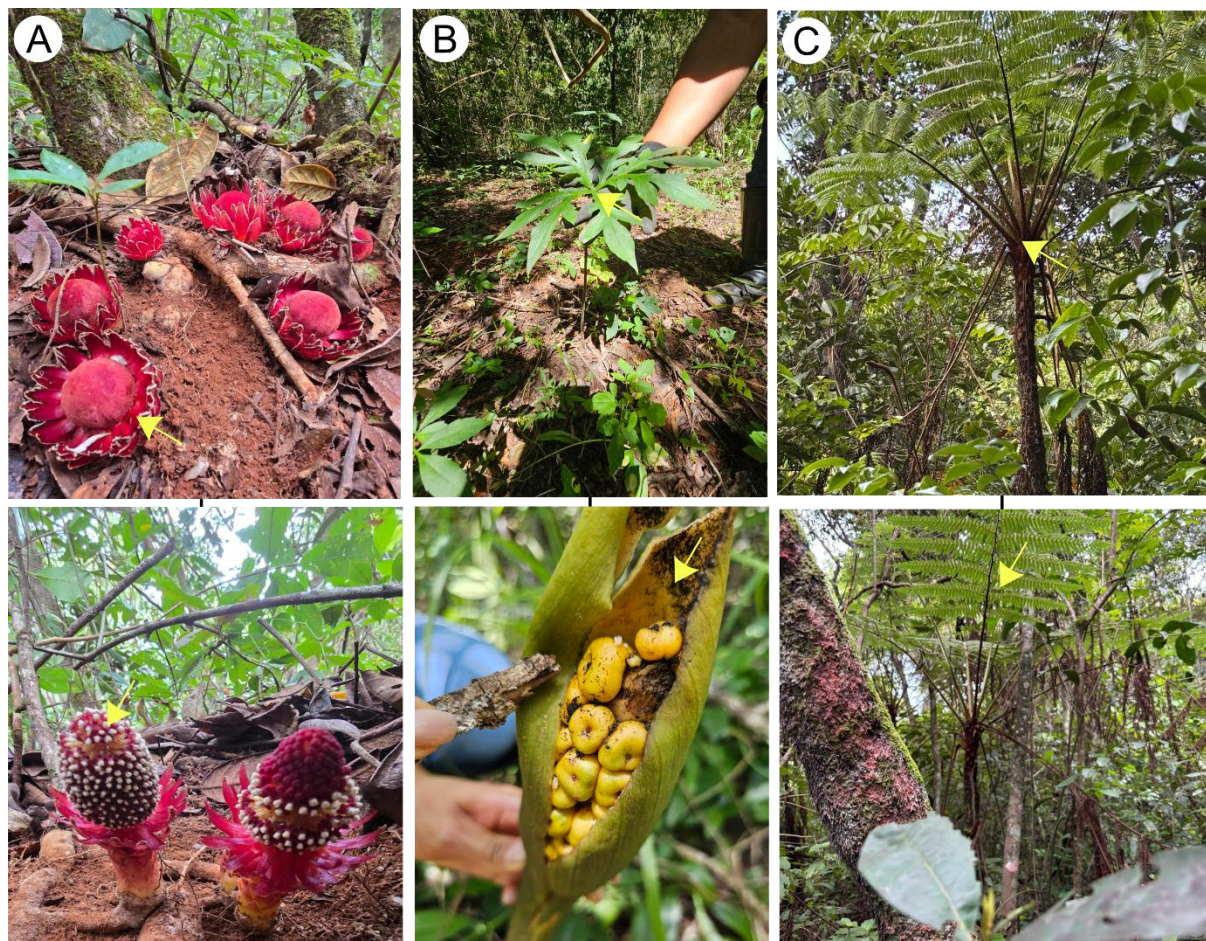
As etapas metodológicas para mapeamento de fitossítios seguem o seguinte protocolo: na primeira etapa realizada em campo é necessário: (i) levantamento florístico em campo da espécie botânica alvo de estudo; (ii) coleta de coordenadas geográficas de cada indivíduo ou conjunto agrupado de indivíduos da espécie. Cada ponto de ocorrência deve ser registrado com coordenadas geográficas utilizando receptor (Sistema Global de Navegação por Satélite) GNSS de alta precisão. Alternativamente, aplicativos precisos de telefone móvel também podem ser utilizados. Nesta etapa é fundamental munir-se de anotações sobre o microambiente, tipo, textura e estrutura de solo, exposição solar, e cobertura do dossel. O método adotado visa possibilitar análises posteriores em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas), reforçando o vínculo entre a ecologia das espécies e a espacialização dos fitossítios. Além disso, fotografias e material botânico devem ser coletados para conferência taxonômica e elaboração de um banco de dados georreferenciado. A segunda etapa consiste no (iii) processamento de dados espaciais via Sistema de Informações Geográficas e (iv) interpretação do mapeamento.

2.3. *Levantamento florístico*

O levantamento florístico, neste estudo, constituiu em coletas sistemáticas realizadas por meio de caminhamentos em trilhas ao longo de diferentes gradientes ambientais da área alvo de estudo. Em nosso estudo de caso, o foco foi identificar espécies com ocorrência restrita ou dominante em determinados microhabitats, cuja distribuição espacial pudesse ser mapeada e interpretada ecologicamente. A seleção das espécies levou em conta critérios de especificidade ecológica e potencial como indicadores de ambientes sensíveis identificadas em campo.

Foram selecionadas, para esta etapa metodológica, as espécies (i) *Langsdorffia hypogaea* – Mart., com ocorrência em áreas de solo argiloso e com maior luminosidade (Figura 3A); (ii) *Taccarum peregrinum* (Schott) Engl., geralmente encontrada em solos menos argilosos profundos sob vegetação mais aberta, próximas das trilhas e associada a camada de serrapilheira (Figura 3B) e; (iii) *Cyathea delgadii* – Pohl. ex sternb., associada a ambientes úmidos e sombreados (Figura 3C). As espécies *L. hypogaea* e *T. peregrinum* tornam-se perceptíveis em campo apenas em períodos específicos do ano. *Langsdorffia hypogaea* se torna visível durante a floração, quando seus botões florais emergem na superfície do solo, sendo este o principal indicativo de sua presença. Já *T. peregrinum* apresenta tanto folhas quanto estruturas férteis apenas em determinados períodos do ano; fora desses intervalos, a espécie entra em senescência, desaparecendo completamente da superfície, o que dificulta sua observação e registro. As coletas dos dados de campo das espécies aconteceram no ano de 2024 entre os meses de janeiro até junho.

Figura 3: Espécies da flora selecionadas para identificação de fitossítios no sudeste brasileiro. (A) *Langsdorffia hypogaea*; (B) *Taccarum peregrinum* e (C) *Cyathea delgadii*.



Fonte: Os autores.

2.4. Análise espacial

Para essa etapa, pode-se utilizar de qualquer software de SIG munido de ferramenta de estatística não paramétrica baseada no Estimador de Densidade de Kernel (EDK) (Silverman, 1986). Neste caso, utilizou-se a ferramenta de densidade de Kernel disponível no software ArcGIS 10.8.1 (*Spatial Analyst Tools > Kernel Density*) (ESRI, 2020). De maneira equivalente, nas versões do software QGIS utiliza-se as etapas *Raster > Mapa de Calor*. Com essa função é possível identificar áreas com maior densidade de probabilidade de ocorrência das espécies, essa análise permite delimitar "*pontos quentes*" ecológicos com base em distribuição espacial.

O raio de busca adotado foi de 50 metros, a fim de representar adequadamente a escala da área de estudo, no entanto a definição desse parâmetro de suavização é uma etapa importante e depende de cada caso. Esse parâmetro determina a área de influência ao redor de cada ponto de ocorrência da espécie, e afeta diretamente a suavização e interpretação dos resultados e, para os fitossítios, terá impacto direto no perímetro da área. Recomendamos testar múltiplos valores de raio (em metros ou quilômetros) e comparar visualmente os resultados, avaliando tecnicamente qual melhor representa o fenômeno em estudo. Não existe um valor universalmente aplicável; o ideal é adotar métodos sistemáticos para testar e selecionar aquele

que se ajusta ao conjunto de dados analisado (considerando a escala local; o comportamento das espécies vegetais). É importante lembrar que raios muito pequenos podem gerar limites inadequados, ocultando padrões locais relevantes, enquanto raios excessivamente grandes podem produzir superfícies excessivamente suavizadas, extrapolando a zona real de influência e a probabilidade de ocorrência da espécie.

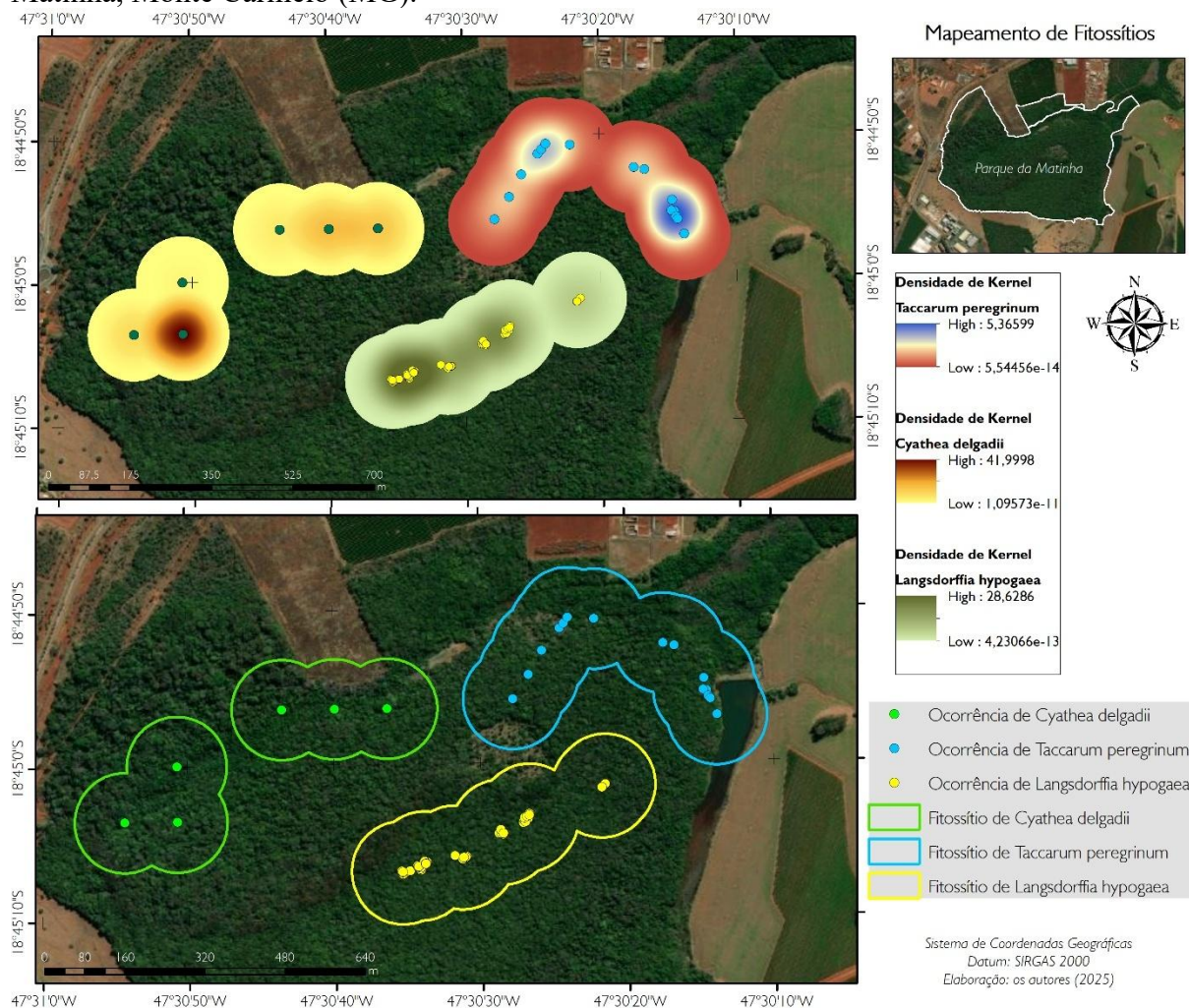
Após a elaboração do mapa de calor, converte-se o *raster* de saída para extensão vetorial (*shapefile* ou equivalente), de forma a se conseguir extrair o limite final da densidade de Kernel, que equivalerá ao perímetro da área proposta como fitossítio

3. Resultados e discussão

Similar ao que se encontra na literatura sobre geossítios, os fitossítios moldados a partir de seus *fitodesigners* fornecem respostas em uma escala espacial de detalhe, permitindo o desenvolvimento de estratégias relacionadas a conservação ecológica mais coerentes e realista com a situação de campo (Mariotto *et al.*, 2023; Quoos & Figueró, 2023). Portanto, esse estudo fortalece a conceitualização do termo (Castro *et al.*, 2024) e demonstra um protocolo para execução do mesmo como respostas para a conservação ecológica de áreas protegidas.

A análise da densidade de Kernel com os dados de ocorrência resultou na identificação de três fitossítios principais: Fitossítio 1 - Região central do parque, dominada por *Cyathea delgadii*, em solo úmido e sob cobertura florestal densa (área de 14,29 ha); Fitossítio 2 - Setor sudoeste, dominado por *Langsdorffia hypogaea*, com solo arenoso profundo e vegetação esparsa de cerrado (área de 12,03 ha); Fitossítio 3 - Porção leste, com ocorrência concentrada de *Taccarum peregrinum*, em borda de mata, solo argiloso e alta luminosidade (área de 14,41 ha) (Figura 4).

Figura 4: Determinação dos fitossítios para as espécies alvo do estudo na área do Parque da Matinha, Monte Carmelo (MG).



Fonte: Os autores.

Cada fitossítio constitui uma resposta ecológica específica ao gradiente de fatores ambientais, tais como tipo de solo, umidade e luminosidade. Esta abordagem permite um detalhamento minucioso das características de cada área, possibilitando a aplicação de estratégias de conservação diferenciadas para cada fitossítio, o que potencializa o sucesso das ações implementadas. A associação clara entre as espécies indicadoras e seus respectivos microhabitats valida sua seleção como bioindicadoras, ou seja, espécies vegetais cuja presença, abundância ou estado refletem a qualidade ambiental do ecossistema. Esta é uma estratégia amplamente reconhecida em estudos de ecologia de comunidades, especialmente no contexto da identificação de habitats prioritários para conservação (Lawton & Gaston, 2001).

As samambaias são conhecidas por fornecerem respostas às variações ambientais, com distribuição influenciada por aspectos físicos do ambiente como, tipo de substrato, textura do solo, temperatura, evapotranspiração, umidade relativa e estrutura vegetativa (Santos-Silva *et al.* 2019). Os mesmos autores demonstraram que *Cyathea delgadii* possui populações mais densas de indivíduos em áreas específicas, caracterizadas por maior disponibilidade umidade (sítios úmidos), dossel moderado/ semi-sombreadas e conservadas. A presença desta espécie em áreas, frequentemente associadas a nascentes e cursos d'água rasos, reforça seu papel como

indicadora de zonas de recarga hídrica e de elevada biomassa, onde o microclima e a umidade do solo contribuem para alta estabilidade ecológica.

As espécies *Langsdorffia hypogaea* e *Taccarum peregrinum* apresentam padrões fenológicos distintos que limitam sua detecção visual a janelas temporais específicas ao longo do ano, o que reforça a importância da delimitação de fitossítios visando a conservação, uma vez que, mesmo sem a observação da espécie, poderá determinar sua ocorrência no local.

Langsdorffia hypogaea, sendo uma holoparasita subterrânea, manifesta-se acima do solo apenas durante sua fase reprodutiva, quando suas inflorescências carnosas emergem, geralmente no pico da estação seca, tornando-se visível por um período aproximado de seis meses (França *et al.*, 2024). Por sua vez, *T. peregrinum* exibe uma fenologia ainda mais restrita, com emergência foliar e reprodutiva, a partir de um caule subterrâneo, evidentes apenas por cerca de três meses anuais durante a estação chuvosa e com poucas informações na literatura científica especializada (Alobaide *et al.*, 2002).

Langsdorffia hypogaea possui uma distribuição agregada que pode estar associada ao seu crescimento vegetativo ou a uma dispersão reduzida de sementes, gerando diferentes formas de agregação de indivíduos e interferindo no uso de recursos e nas interações interespecíficas. O conhecimento ecológico sobre a espécie ainda é escasso, especialmente no Cerrado brasileiro. Todavia, é apontado na literatura que essa espécie não é específica de um único hospedeiro, portanto sua ocorrência e interação provavelmente se baseia na abundância e/ou qualidade dos hospedeiros na comunidade vegetal local. Espécies que apresentam esse padrão de distribuição tendem a ser mais fortemente afetada por perturbações e dependentes de diversos fatores bióticos e abióticos (Santos *et al.*, 2017), reforçando assim, seu papel como bioindicadora.

O pesquisador pode incrementar análise conjunta de dados, observando seus dados em sobreposição com camadas geoespaciais como tipo de solos, declividade, altimetria dentre outros, de forma a permitir verificar as demais constatações sobre a paisagem local e, toda uma coerência ecológica dos fitossítios definidos, assim como permitir ajustar seus limites conforme critérios paisagísticos. O resultado é uma delimitação mais robusta, fundamentada em geoestatística e múltiplas variáveis ambientais, isso amplia a aplicabilidade do método para diagnósticos ambientais, planos de manejo e planejamento territorial.

A delimitação dos fitossítios no Parque da Matinha destaca um padrão marcante de heterogeneidade ambiental, refletido na diversidade de condições ecológicas que sustentam distintas comunidades vegetais. Essa heterogeneidade é crucial para a resiliência do ecossistema, uma vez que amplia a gama de microhabitats e refúgios ecológicos, favorecendo a manutenção da biodiversidade (Alberti, 2024; Oliver *et al.* 2015). O mapeamento desses núcleos botânicos permite orientar decisões de planejamento territorial, manejo adaptativo e estratégias de definição de áreas prioritárias para criação de Unidades de Conservação, com base em critérios ecológicos específicos.

Particularmente, a presença recorrente de espécies indicadoras em ambientes com maior disponibilidade hídrica e cobertura vegetal mais densa aponta para zonas de alta prioridade para conservação (Lehnert *et al.*, 2013). Essas áreas desempenham papel estratégico na proteção de recursos hídricos, mitigação de extremos climáticos locais e suporte à conectividade ecológica (Bani *et al.*, 2006). No contexto do município de Monte Carmelo-MG, essa abordagem assume ainda maior relevância, dada sua reconhecida vulnerabilidade climática e grau avançado de fragmentação da vegetação nativa (Morais Junior *et al.*, 2024; Santos *et al.*, 2024; Clima Gerais, 2025).

Segundo os estudos supracitados, Monte Carmelo apresenta vulnerabilidade moderada às mudanças climáticas e está inserido em uma das mesorregiões mineiras com maior

desconformidade em relação ao cumprimento da legislação ambiental, particularmente no que se refere às Áreas de Preservação Permanente (APP) e Reservas Legais (RL), conforme estabelecido pelo Código Florestal (Lei 12.651/2012). Estima-se que aproximadamente 68% das APPs e RLs no município estejam em desconformidade legal, configurando um cenário crítico para a integridade ecológica regional (Santos *et al.*, 2025).

Nesse contexto, os fitossítios surgem como instrumento para a identificação e priorização de fragmentos com maior valor de conservação, subsidiando políticas públicas que, para além de Unidades de Conservação, podem ser úteis para compensações ambientais e ações de restauração ecológica baseadas em evidências técnicas. Os fitossítios podem ser incorporados a políticas públicas voltadas à sustentabilidade urbana e rural, promovendo ações coerentes com os compromissos assumidos pelo Brasil no Acordo de Paris e fortalecendo sua Política Nacional de Mudança do Clima e seu Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (Brasil, 2009; Brasil, 2012A; Brasil 2012B; Brasil 2024).

Adicionalmente, o planejamento territorial com base em fitossítios pode oferecer um instrumento eficaz para estratégias de enfrentamento à crise climática, em virtude da possibilidade de se identificar zonas ambientais sensíveis que podem ser monitoradas sistematicamente ao longo do tempo. A identificação de alterações nos padrões de distribuição espacial ou na composição florística dos fitossítios pode fornecer indicadores ecológicos para avaliar impactos ambientais em escalas local e regional, principalmente para espécies indicadoras sensíveis a alteração climática (Esperon-Rodriguez *et al.*, 2022; Lovell *et al.*, 2023). Dessa forma, os fitossítios tornam-se zonas naturais para o desenvolvimento de sistemas de alerta precoce, programas de biomonitoramento e ações de mitigação e adaptação climática baseadas em indicadores ecológicos consistentes.

4. Considerações finais

Este trabalho apresentou a primeira proposta de mapeamento de fitossítios, aplicada ao Parque da Matinha, em Monte Carmelo (MG), no sudeste do Brasil. Os resultados evidenciam que a análise espacial em ambiente de SIG, a partir de registros botânicos de campo, contribui significativamente para a interpretação ecológica da paisagem e oferece informações mais robustas para a definição de áreas prioritárias para a conservação. O mapeamento de fitossítios se configura como um refinamento na escala de análise da vegetação, além de se consolidar como uma ferramenta estratégica para a gestão ambiental e climática. Ademais, o protocolo metodológico desenvolvido demonstrou ser passível de replicação em outras ecorregiões, ampliando seu potencial de aplicação em diferentes contextos ecológicos.

Agradecimentos

Os autores gostariam de expressar sua gratidão ao Núcleo de Estudos, Pesquisa e Extensão em Planejamento e Manejo da Paisagem Florestal (NUPLAMFLOR – UFU), e à Sala Verde Centro de Formação em Educação Climática (CEFEC - UFU) pelo apoio e suporte institucional durante todo o desenvolvimento deste estudo, especialmente por meio dos membros estudantes de graduação Rafael Maick, Maria Izabel e Amanda Santos, pela participação ativa na coleta de dados em campo. Agradecemos ao Dr. Antônio Alberto Jorge Farias Castro (UFPI) pelo compartilhamento do material sobre os fitossítios. Agradecemos também à Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) por fornecerem o

arcabouço institucional e acadêmico necessário para esta pesquisa. Danielle Piuzana Mucida agradece à FAPEMIG/CNPQ pela Bolsa de Produtividade APQ-06558-24.

Referências

Alberti, M. (2024). Cities of the Anthropocene: urban sustainability in an eco-evolutionary perspective. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 379(1893), 20220264. <https://doi.org/10.1098/rstb.2022.0264>

Alobaide, Z. N., Habel, A., Awin, T., Buzgaia, N., Elamari, A., Elteera, F., & Elabbar, F. (2023). *Arum Cyrenaicum*: A comprehensive review of Phytochemistry and Bioactivity. *Scientia Radices*, 3(3), 218-227. 10.58332/scirad2024v3i3a05

Bani, L., Massimino, D., Bottoni, L., & Massa, R. (2006). A multiscale method for selecting indicator species and priority conservation areas: a case study for broadleaved forests in Lombardy, Italy. *Conservation Biology*, 20(2), 512-526. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00331.x>

Brasil. (2009). Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC). https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Lei/L12187.htm

Brasil. (2012). Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa (Novo Código Florestal). https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm

Brasil. (2024). Lei nº 15.042, de 11 de janeiro de 2024. Institui a Política Nacional de Adaptação à Mudança do Clima. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/L15042.htm

Brilha J. (2005). *Património Geológico e Geoconservação: a Conservação da Natureza na sua Vertente Geológica*. Palimage Editores, Viséu. http://www.dct.uminho.pt/docentes/pdfs/jb_livro.pdf

Brilha, J. (2016). Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: a review. *Geoheritage*, 8(2), 119-134. <https://doi.org/10.1007/s12371-014-0139-3>

Bruno, D. E., Crowley, B. E., Gutak, J. M., Moroni, A., Nazarenko, O. V., Oheim, K. B., & Zorina, S. O. (2014). Paleogeography as geological heritage: Developing geosite classification. *Earth-Science Reviews*, 138, 300-312. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.06.005>

Castro, A. A. J. F., Farias, R. R. S. de, Sousa, S. R. de, & Costa-Coutinho, J. M. da. (2024). *Tesouros verdes do Cerrado: Conhecendo a diversidade botânica do Parque Nacional de Sete Cidades*. Publicações Literárias. <https://doi.org/10.56238/livrosindi202447-001>

Esperon-Rodriguez, M., Tjoelker, M. G., Lenoir, J., Baumgartner, J. B., Beaumont, L. J., Nipperess, D. A. & Gallagher, R. V. (2022). Climate change increases global risk to urban forests. *Nature Climate Change*, 12(10), 950-955. <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01465-8>

ESRI. (2020). *ArcGIS Desktop: Release 10.8.1*. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.

Ferreira, M. P., Corrêa, B. M., de Moraes, M. S., & Mucida, D. P. (2023). Sítios de geodiversidade e seus respectivos serviços geossistêmicos em Diamantina, Serra do Espinhaço Meridional. *Revista Territorium Terram*, 6(8), 137-154. https://periodicos.ufsj.edu.br/territorium_terram/article/view/5251

Ferreira, M. P., Moraes, M. S., dos Santos Júnior, L. A., de Jesus França, L. C., & Mucida, D. P. (2024). Potencial de geodiversidade no Caminho Saint Hilaire (CaSHi), Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço. *Caderno de Geografia*, 34(76), 203-237. <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2024v34n76p203>

França, L. C.J, Moraes Junior, V. T. M., Bonfim, J., Cândido, L. R. S. F., dos Santos, R. M., & de Oliveira, J. D. F. F. (2024). Nota Técnica: registro de ocorrência de *Langsdorffia hypogaea* (Balanophoraceae) no município de Monte Carmelo, Minas Gerais. *Regnellae Scientiae*, 10(3): 74-86. Disponível em:

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17381949>

https://www.researchgate.net/publication/393975448_NOTA_TECNICA_DIAGNOSTICO_P_RELIMINAR_DA_AVIFAUNA_DO_PARQUE_DA_MATINHA_-_MONTE_CARMELO_MINAS_GERAIS_ESPECIES_ENDEMICAS_BIOINDICADORAS_E_AMEACADAS. Acesso em: 25 Jul. 2025.

Lawton, J.H & Gaston, K.J. (2004). Ecology and Roads. In D. W. MacDonald (Ed.), *The Encyclopedia of Ecology and Environmental Management* (pp. 361–369). Elsevier.

Lehnert, L. W., Bässler, C., Brandl, R., Burton, P. J., & Müller, J. (2013). Conservation value of forests attacked by bark beetles: Highest number of indicator species is found in early successional stages. *Journal for Nature Conservation*, 21(2), 97-104.
<https://doi.org/10.1016/j.jnc.2012.11.003>

Lima, F. F., Brilha, J. B., & Salamuni, E. (2010). Inventorying geological heritage in large territories: a methodological proposal applied to Brazil. *Geoheritage*, 2, 91-99.
<https://doi.org/10.1007/s12371-010-0014-9>

Lopes, S.F, do Prado Júnior, J. A., Neto, O. C. D., & Souto, H. N. (2011). Diagnóstico ambiental para implementação do parque municipal da matinha (Monte Carmelo, MG): implicações à conservação da biodiversidade. *Caminhos de Geografia*, 12(39), 58-80.
<https://doi.org/10.14393/RCG123916462>

Lovell, R. S., Collins, S., Martin, S. H., Pigot, A. L., & Phillimore, A. B. (2023). Space-for-time substitutions in climate change ecology and evolution. *Biological Reviews*, 98(6), 2243-2270. [10.1111/brv.13004](https://doi.org/10.1111/brv.13004).

Moura-Fé, M. M. (2024). Inventário do Patrimônio Geomorfológico: método de seleção, avaliação e classificação de geomorfossítios e sítios geomorfológicos. *Physis Terrae-Revista Ibero-Afro-Americana de Geografia Física e Ambiente*, 6(1), 1-23.
<https://doi.org/10.21814/physisterrae.5938>

Nações Unidas Brasil. (2025). *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)*.
<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>

Oliver, T. H., Heard, M. S., Isaac, N. J., Roy, D. B., Procter, D., Eigenbrod, F., Bullock, J. M. (2015). Biodiversity and resilience of ecosystem functions. *Trends in ecology & evolution*, 30(11), 673-684. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2015.08.009>

Mariotto, F. P., Drymoni, K., Bonali, F. L., Tibaldi, A., Corti, N., & Oppizzi, P. (2023). Geosite assessment and communication: A review. *Resources*, 12(2), 29. <https://doi.org/10.3390/resources12020029>

Quoos, J. H., & Figueiró, A. S. (2023). Cartografia e geodesign para interpretação da paisagem e geodiversidade na Área de Proteção Ambiental da Baleia Franca (SC). *Physis Terrae-Revista Ibero-Afro-Americana de Geografia Física e Ambiente*, 5(1), 45-63. <https://doi.org/10.21814/physisterrae.4635>

Santos, J. C., Nascimento, A. R. T., Marzinek, J., Leiner, N., & Oliveira, P. E. (2017). Distribution, host plants and floral biology of the root holoparasite *Langsdorffia hypogaea* in the Brazilian savanna. *Flora*, 226, 65-71. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2016.11.008>

Santos-Silva, D. L., da Silva Gomes, G., da Silva, G. S., & Araujo, M. D. F. (2019). Structure and spatial distribution pattern of *Cyathea delgadii* Sternb. (Cyatheaceae) in two Cerrado areas, in the Northeast of Brazil. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 5(6), 580-586. <https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.6.6.64>

Santos, R. M. dos, Morais Junior, V. T. M. de, Amaral, E., Mucida, D. P., & França, L. C. J. (2024). Diagnóstico do conflito do uso e ocupação da terra em áreas protegidas por lei em imóveis rurais no município de Monte Carmelo-MG. *Revista Espinhaço*, 13(1). <https://doi.org/10.5281/zenodo.14501236>

Silverman, Bernard W. (1986). *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*. New York: Chapman and Hall.

Teixeira, C. A. N., Mendes, A. P. D. A., Costa, R. C. D., Koblitz, A. C. V., & Lage, E. S. (2021). Neutralidade de carbono: reflexões sobre estratégias e oportunidades para o Brasil. *Revista do BNDES*, 28(56), 267-314. <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/22026>

United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC. (2015). Paris Agreement. https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf

United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC. (2023). Race to Zero Campaign. Climate Action Pathways and Initiatives. https://climateaction.unfccc.int/Initiatives?id=Race_to_Zero

Vieira, A. (2024). I Reunião Iberoamericana sobre Património Geomorfológico e V Encontro Luso-Brasileiro de Património Geomorfológico e Geoconservação–Santiago de Compostela (Espanha). *Physis Terrae-Revista Ibero-Afro-Americana de Geografia Física e Ambiente*, 6(1), 51-55. <https://doi.org/10.21814/physisterrae.6168>