

CONSERVAÇÃO DA GEODIVERSIDADE EM GEOSISTEMAS FERRUGINOSOS

<https://doi.org/10.4215/rm2024.e23023>

Ruchkys, U.A. ^{a*} - Gomes, M. ^b - Santos, D. J. ^c - Travassos, L.E.P. ^d

(a) Doutora em Geografia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4708-2897>. **LATTES:** <http://lattes.cnpq.br/0031049365155055>.

(b) Mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0829-7104>. **LATTES:** <http://lattes.cnpq.br/0196021174381333>.

(c) Mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2791-5318>. **LATTES:** <http://lattes.cnpq.br/3821589339882779>.

(d) Doutor em Geografia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6264-2429>. **LATTES:** <http://lattes.cnpq.br/9118322656718483>.

Article history:

Received 01 October, 2024

Accepted 03 October, 2024

Published 10 October, 2024

(*) CORRESPONDING AUTHOR

Address: Av. Antônio Carlos, 6627 - Instituto de Geociências, Pampulha, CEP: 31270-901, Belo Horizonte (MG), Brazil, Tel: (+55 31) 34095425

E-mail: tularuchkys@yahoo.com.br

Resumo

Este estudo examina a evolução das áreas ao redor de “bat caves” no Geossistema Ferruginoso de Carajás de 1985 a 2022, destacando a importância da conservação da geodiversidade nesse contexto único. A análise das transformações de uso e cobertura do solo revela percepções críticas sobre mudanças espaço-temporais e o aumento dos riscos de degradação ambiental. Os resultados ampliam a literatura existente sobre conservação da geodiversidade e espeleologia, fornecendo uma base sólida para pesquisas futuras. O monitoramento contínuo das áreas mineradas e seus impactos ecológicos é essencial para aprimorar as estratégias de gestão desses ecossistemas sensíveis. Além disso, as recentes tentativas de alteração na legislação de proteção de cavernas, especialmente o Decreto 10.935, representam desafios significativos para a conservação, exigindo uma avaliação crítica das políticas ambientais e promovendo o diálogo entre pesquisadores, formuladores de políticas e a indústria mineradora. Este estudo ressalta a necessidade urgente de uma abordagem equilibrada entre a extração de recursos e a conservação ambiental para mitigar impactos adversos sobre a biodiversidade e os processos ecológicos. A gestão ambiental integrada e baseada em evidências é crucial para enfrentar os desafios das atividades mineradoras e das mudanças regulatórias, garantindo a proteção das cavernas e de seus ecossistemas para um futuro sustentável.

Palavras-chave: Geodiversidade; Cavernas de Morcegos; Impactos da Mineração; Ecologia da Paisagem; Gestão Ambiental.

Abstract / Resumen

CONSERVATION OF GEODIVERSITY IN FERRUGINOUS GEOSYSTEMS

This study examines the evolution of areas surrounding the bat caves in the Ferruginous Geosystem of Carajás from 1985 to 2022, emphasising the significance of geodiversity conservation in this unique context. The land use and cover transformations analysis reveals critical insights into spatio-temporal changes and escalating environmental degradation risks. The findings enhance the literature on geodiversity conservation and speleology, providing a solid foundation for future research. Monitoring mined areas and their ecological impacts is essential for refining management strategies for these sensitive ecosystems. Furthermore, recent attempts to amend cave protection legislation, particularly Decree 10.935, pose significant conservation challenges, necessitating a critical evaluation of environmental policies and fostering dialogue among researchers, policymakers, and the mining industry. This study highlights the urgent need for a balanced approach between resource extraction and environmental conservation to mitigate adverse impacts on biodiversity and ecological processes. Integrated and evidence-based environmental management is crucial for addressing the challenges of mining activities and regulatory changes, ensuring the protection of caves and their ecosystems for a sustainable future.

Keywords: Geodiversity; Bat Caves; Mining Impacts; Landscape Ecology; Environmental Management; Carajás Geosystem; Legislative Changes.

CONSERVACIÓN DE LA GEODIVERSIDAD EN GEOSISTEMAS FERRUGINOSOS

Este estudio examina la evolución de las áreas alrededor de las “cuevas de murciélagos” en el Geosistema Ferruginoso de Carajás de 1985 a 2022, destacando la importancia de la conservación de la geodiversidad en este contexto único. El análisis del uso de la tierra y las transformaciones de la cobertura terrestre revela conocimientos críticos sobre los cambios espacio-temporales y los mayores riesgos de degradación ambiental. Los resultados amplían la literatura existente sobre conservación de la geodiversidad y espeleología, proporcionando una base sólida para futuras investigaciones. El monitoreo continuo de las áreas minadas y sus impactos ecológicos es esencial para mejorar las estrategias de gestión de estos ecosistemas sensibles. Además, los intentos recientes de cambiar la legislación de protección de cuevas, especialmente el Decreto 10.935, representan desafíos importantes para la conservación, ya que requieren una evaluación crítica de las políticas ambientales y promueven el diálogo entre investigadores, formuladores de políticas y la industria minera. Este estudio destaca la necesidad urgente de un enfoque equilibrado entre la extracción de recursos y la conservación del medio ambiente para mitigar los impactos adversos sobre la biodiversidad y los procesos ecológicos. La gestión ambiental integrada y basada en evidencia es crucial para enfrentar los desafíos de las actividades mineras y los cambios regulatorios, asegurando la protección de las cuevas y sus ecosistemas para un futuro sostenible.

Palabras-clave: Geodiversidad; Cuevas de Murciélagos; Impactos de la Minería; Ecología del Paisaje; Gestión Ambiental.

INTRODUÇÃO

Os Geossistemas Ferruginosos são áreas geográficas predominantemente compostas por rochas ricas em ferro. No Brasil, esses geossistemas estão localizados em regiões específicas, como o Quadrilátero Ferrífero, a borda oriental da Serra do Espinhaço e o Vale do Rio Peixe Bravo em Minas Gerais, no planalto de Urucum, no Mato Grosso do Sul, assim como na Serra de Carajás, no Pará, e no Vale do Rio São Francisco, na Bahia (RUCHKYS et al., 2015). Tradicionalmente, a literatura tem se concentrado em seu valor econômico, devido à abundância de minério de ferro.

No entanto, nos últimos anos, estudos de diversas áreas têm destacado o valor patrimonial desses geossistemas, abrangendo aspectos biológicos (CARMO, 2010; FERREIRA et al., 2018), arqueológicos (BAETA, 2011), geológicos (RUCHKYS, 2007; RUCHKYS et al., 2009; RUCHKYS et al., 2012), espeleológicos (CAVALCANTI et al., 2012; PEREIRA, 2012; CALUX, 2013; Gomes et al., 2019), paleontológicos (CARMO et al., 2011) e hidrogeológicos (MOURÃO, 2007). A notável geodiversidade e a complexidade evolutiva desses geossistemas, incluindo algumas das superfícies expostas mais antigas do planeta, são amplamente reconhecidas por favorecerem a preservação da biodiversidade (TRENDALL; MORRIS, 1983; MONTEIRO et al., 2014; SALGADO, 2015).

Entre os diversos valores associados aos geossistemas ferruginosos, o potencial espeleológico se destaca, especialmente as cavernas, que desempenham um papel crucial na preservação da diversidade biológica e na prestação de serviços ecossistêmicos (URBAN et al., 2022; MENIN; BACCI, 2023). As cavernas, como elementos da geodiversidade, oferecem serviços como solo, água e recursos minerais, além de valores culturais, científicos, educacionais e turísticos (MENIN; BACCI, 2023).

No Brasil, o Decreto nº 99.556 de 1990, posteriormente alterado pelo Decreto nº 6.640 de 2008, fornece a definição legal de “caverna”, reconhecendo essas feições como espaços naturais subterrâneos, com ou sem aberturas identificáveis, incluindo seu ambiente mineral, água, fauna, flora e as formações rochosas em que estão localizadas. Esse marco legal ressalta a importância de preservar esses ambientes, incluindo-os no conceito mais amplo de patrimônio espeleológico, que abrange tanto a caverna em si quanto a área circundante (BRASIL, 2004).

Dado os impactos antropogênicos e a sub-representação das cavernas nos planos globais de conservação, a preservação dessas áreas é crítica, não apenas no Brasil, mas em todo o mundo (ITO et al., 2022). Devido às suas características físicas e morfológicas, combinadas com os recursos tróficos disponíveis, os ambientes cavernícolas abrigam espécies altamente especializadas, notadamente morcegos (FUREY; RACEY, 2015; MEDELLIN et al., 2017). Estudos recentes enfatizam os morcegos como bioengenheiros, cujas atividades causam mudanças geomorfológicas nas cavernas, reforçando a necessidade urgente de conservar esses ambientes subterrâneos (PILÓ et al., 2023). Além das transformações físicas, os morcegos cavernícolas desempenham papéis ecológicos cruciais que beneficiam diretamente os seres humanos. Morcegos frugívoros e nectarívoros contribuem para a polinização e dispersão de sementes de plantas economicamente significativas, como bananas, mangas e madeiras nobres, enquanto os morcegos insetívoros controlam populações de insetos, consumindo milhares por noite (PENNISI et al., 2004). Com aproximadamente 1.450 espécies globalmente, três quartos das quais são insetívoras, o serviço de supressão de pragas pelos morcegos tem um valor econômico que varia de \$0,01 a \$767,75 por hectare ao ano, destacando sua importância para a agricultura e a conservação da biodiversidade (FREIRE, 2023). Cavidades naturais subterrâneas e o patrimônio que representam devem ser preservados como importantes sítios de geoconservação para as gerações futuras (WOO; KIM, 2018), particularmente para proteger os abrigos cruciais para a conservação de diversas espécies de morcegos (VOIGT et al., 2016).

Este artigo tem como objetivo analisar a evolução da composição da paisagem ao redor das cavernas que abrigam milhares de morcegos (cavernas de morcegos) (PIMENTEL; BERNARD, 2024) no Geossistema Ferruginoso de Carajás, Pará, Brasil, entre 1985 e 2021. A análise da composição da paisagem é essencial para entender a estrutura e a função dos geossistemas, avaliar os impactos ambientais e orientar o planejamento do uso do solo, promovendo tanto a conservação da geodiversidade quanto da biodiversidade (GOMES et al., 2019).

ÁREA DE ESTUDOS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A área de estudo abrange o Geossistema Ferruginoso de Carajás, localizado no sudeste do Pará, na região Amazônica do Brasil. Ela inclui a Floresta Nacional de Carajás (FLONA) e o Parque Nacional dos Campos Ferruginosos (PARNA), ambos geridos pelo ICMBio (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade) (Figura 1). A legislação vigente busca equilibrar a conservação ambiental com o uso sustentável dos recursos naturais na FLONA, enquanto o PARNA é destinado à proteção integral.

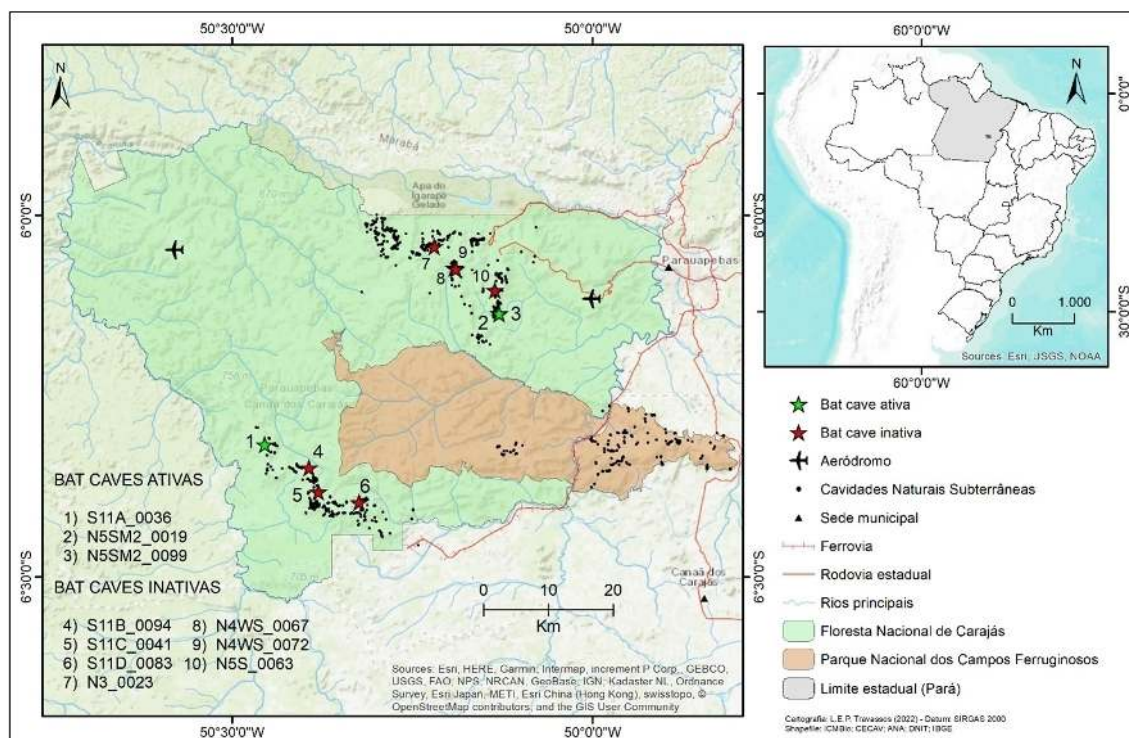


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo. Fonte: Elaborado pelos autores.

Geologicamente, esse geossistema está situado na porção sudeste do Cráton Amazônico, com a sequência metavulcanossedimentar neoarqueana do Grupo Grão Pará sendo proeminente. Essa sequência contém formações ferríferas bandadas, especialmente jaspilitos da Formação Carajás, intercalados com rochas máficas da Formação Parauapebas (MACAMBIRA, 2003). O jaspilito, uma variedade de sílex com inclusões de hematita, confere à rocha sua cor vermelha característica e abriga corpos de minério de ferro de alto teor, superando 65%, compostos por magnetita/martita e hematita (LOBATO et al., 2005; ROSIÈRE, 2015). A pressão antropogênica na região está principalmente relacionada à mineração das formações ferríferas bandadas da Formação Carajás (DUTRA, 2013).

Com relação ao patrimônio espeleológico, as duas unidades de conservação abrigam mais de 1.600 cavernas documentadas (CECAV, 2024). Dentre elas, 10 foram classificadas como cavernas de morcegos (PILÓ et al., 2023), com 3 ainda ativas (N5SM2_0019, N5SM2_0099 e S11A_0036), proporcionando abrigo para milhares de morcegos. Além de seu papel no controle da população de insetos, bem como na polinização e dispersão de sementes, os morcegos dessas cavernas desempenham uma função ecológica única como bioengenheiros.

Estudos recentes identificaram que, ao longo de mais de 23.000 anos, a presença contínua de morcegos e os grandes depósitos de guano acumulados promoveram alterações na geomorfologia das cavernas de minério de ferro (PILÓ et al., 2023). Esses processos biológicos e químicos resultaram em características geomorfológicas semelhantes às observadas em cavernas de calcário, como a dissolução

de rochas de minério de ferro e a formação de espeleotemas (Figuras 2a e 2b). Também foram observadas mudanças na vegetação externa próxima às cavernas, possivelmente influenciadas pelo escoamento de água altamente ácida durante as estações chuvosas, como visto na caverna S11A_0036 (Figuras 2c e 2d).

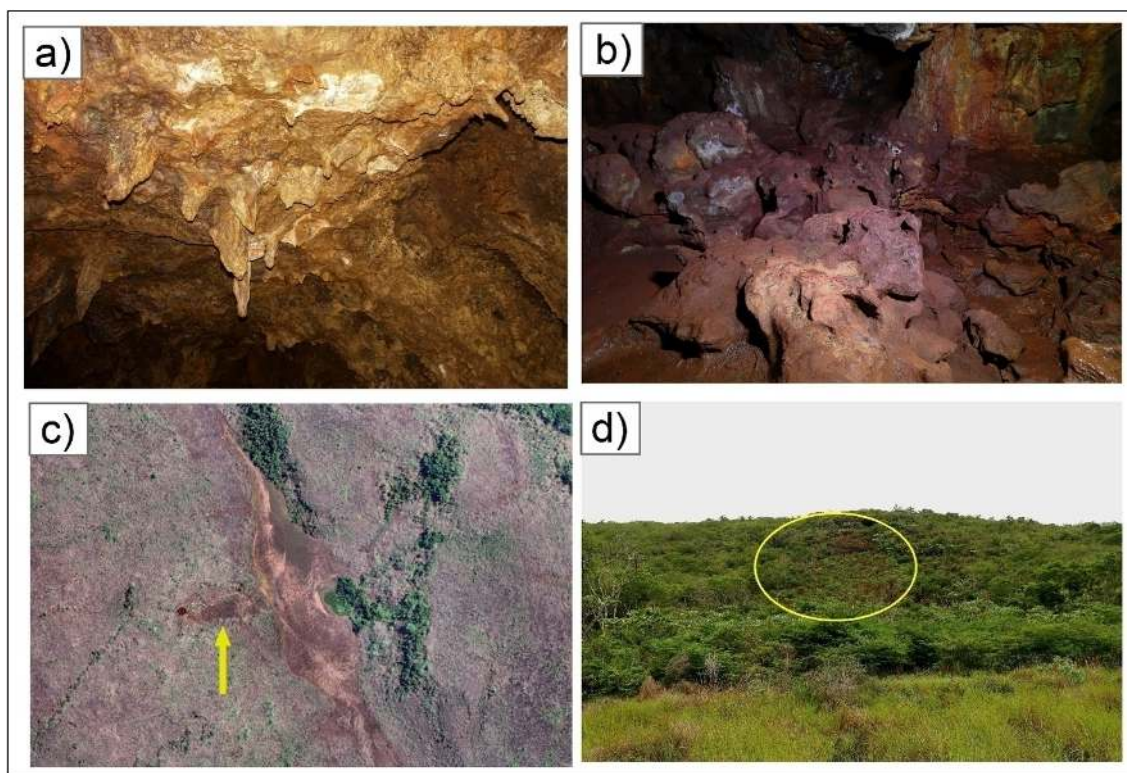


Figura 2 - Efeitos de longo prazo da presença de morcegos em cavernas do Geossistema Ferruginoso de Carajás. a) Estalactites na caverna S11D_0083, b) Dissolução de rocha de minério de ferro na caverna N4WS_0067, c) Imagem de satélite mostrando mudanças na composição da vegetação na entrada da caverna S11A_0036, e d) Aspectos da vegetação ao redor da entrada da caverna S11A_0036. Imagem de satélite: Google Earth. Fotos: Autores.

A análise da composição da paisagem foi realizada para quantificar as áreas ocupadas por diferentes unidades de paisagem, capturando o "conteúdo informacional" da cena, conforme descrito por Lang e Blanschke (2009). A paisagem ao redor das cavidades foi mapeada utilizando dados de uso e cobertura do solo fornecidos pelo Projeto MapBiomas (2023), cobrindo os anos de 1985 e 2021, correspondentes aos dados mais antigos e recentes disponíveis para a área de estudo. Esses mapas, com resolução espacial de 30 metros, foram selecionados a partir da Coleção 8.

As classes de uso e cobertura do solo analisadas incluem: formação florestal, formação campestre, pastagem, áreas urbanas, mineração, rios e lagos. A priorização dessas classes baseou-se em sua importância ecológica para os morcegos, especialmente em termos de áreas de forrageamento. A análise focou nas áreas ao redor das cavidades que abrigam grandes colônias de morcegos (PILÓ et al., 2023), com o objetivo de avaliar a possível perda de áreas de forrageamento devido à remoção de vegetação.

Para melhorar a precisão da análise, a paisagem foi segmentada pela criação de buffers ao redor das cavidades ainda utilizadas pelos morcegos, resultando em dois setores distintos (norte e sul). Dada a falta de estudos específicos que determinem a área de vida dos morcegos na região, foram definidos buffers de 3,5 km, 10 km e 15 km ao redor das cavernas de morcegos, com base em estimativas conservadoras e na literatura existente. A segmentação espacial foi realizada utilizando ferramentas avançadas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), permitindo a extração de dados sobre a estrutura da paisagem para essas áreas em diferentes cenários temporais e espaciais.

Além disso, a análise das mudanças na composição da paisagem entre 1985 e 2021 foi conduzida por meio de uma abordagem de comparação temporal, identificando alterações nas classes de uso e cobertura do solo próximas às cavidades. Essas mudanças foram quantificadas e analisadas para determinar o impacto potencial na ecologia local, particularmente no que diz respeito às funções ecológicas dos morcegos como bioengenheiros e na integridade das cavernas.

Os mapas de uso e cobertura do solo foram processados utilizando o software ArcGIS, onde as classes de uso do solo foram reclassificadas e agregadas de acordo com as categorias estabelecidas. A análise espacial envolveu o uso de métricas específicas para avaliar a composição e a configuração das unidades de paisagem, considerando fragmentação e conectividade ecológica. Métricas como o Índice de Diversidade de Shannon e o Índice de Fragmentação foram calculadas para fornecer uma visão detalhada das mudanças estruturais na paisagem ao longo do tempo.

A validação dos resultados foi realizada por meio da comparação com estudos de campo e dados de sensoriamento remoto de alta resolução, garantindo a precisão das conclusões. Finalmente, as implicações dessas mudanças foram discutidas em termos de conservação e gestão sustentável das áreas protegidas, com recomendações para mitigar os impactos negativos identificados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os mapas de uso e cobertura do solo (Figura 3) foram processados com o uso do software ArcGIS, onde as classes de uso do solo foram reclassificadas e agregadas conforme as categorias previamente estabelecidas. A análise espacial incluiu o uso de métricas específicas para avaliar a composição e a configuração das unidades de paisagem, levando em consideração a fragmentação e a conectividade ecológica. Métricas como o Índice de Diversidade de Shannon e o Índice de Fragmentação foram calculadas para oferecer uma análise detalhada das mudanças estruturais na paisagem ao longo do tempo.

A validação dos resultados foi feita por meio da comparação com estudos de campo e dados de sensoriamento remoto de alta resolução, assegurando a precisão das conclusões. Por fim, as implicações dessas mudanças foram abordadas em termos de conservação e gestão sustentável das áreas protegidas, com recomendações específicas para mitigar os impactos negativos identificados.

Os resultados mostram que, embora as áreas próximas às cavernas ativas permaneçam preservadas, a expansão da mineração em regiões mais distantes é alarmante. A intensificação da mineração nas últimas décadas compromete não apenas os habitats subterrâneos, mas também afeta a conectividade ecológica e os corredores que sustentam as populações de morcegos. Mesmo atividades em áreas relativamente distantes podem ter impactos significativos na conservação dos morcegos e na integridade dos ecossistemas locais.

A contínua expansão da mineração (Figuras 4 e 5), mesmo em áreas que ainda não sofreram impactos diretos, pode representar uma ameaça crescente à biodiversidade e à funcionalidade dos ecossistemas. As cavernas, especialmente as cavernas de morcegos, desempenham papéis críticos, como dispersão de sementes e controle de pragas, ressaltando a necessidade de estratégias de conservação mais rígidas.

Além disso, a análise dos polígonos de mineração registrados na Agência Nacional de Mineração (Figura 6) oferece uma visão crítica sobre o futuro da mineração na região. Todas as cavernas de morcegos, tanto ativas quanto inativas, estão localizadas em áreas já concedidas para mineração, destacando a importância de monitorar de perto essas atividades. A tentativa de flexibilizar a legislação para permitir impactos em cavernas de alta relevância, suspensa pelo Supremo Tribunal Federal em 2024, evidencia a necessidade de equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e a preservação ambiental.

A expansão da mineração representa um risco evidente, e as recentes decisões legislativas e judiciais demonstram a necessidade de políticas robustas e eficazes para mitigar esses impactos.

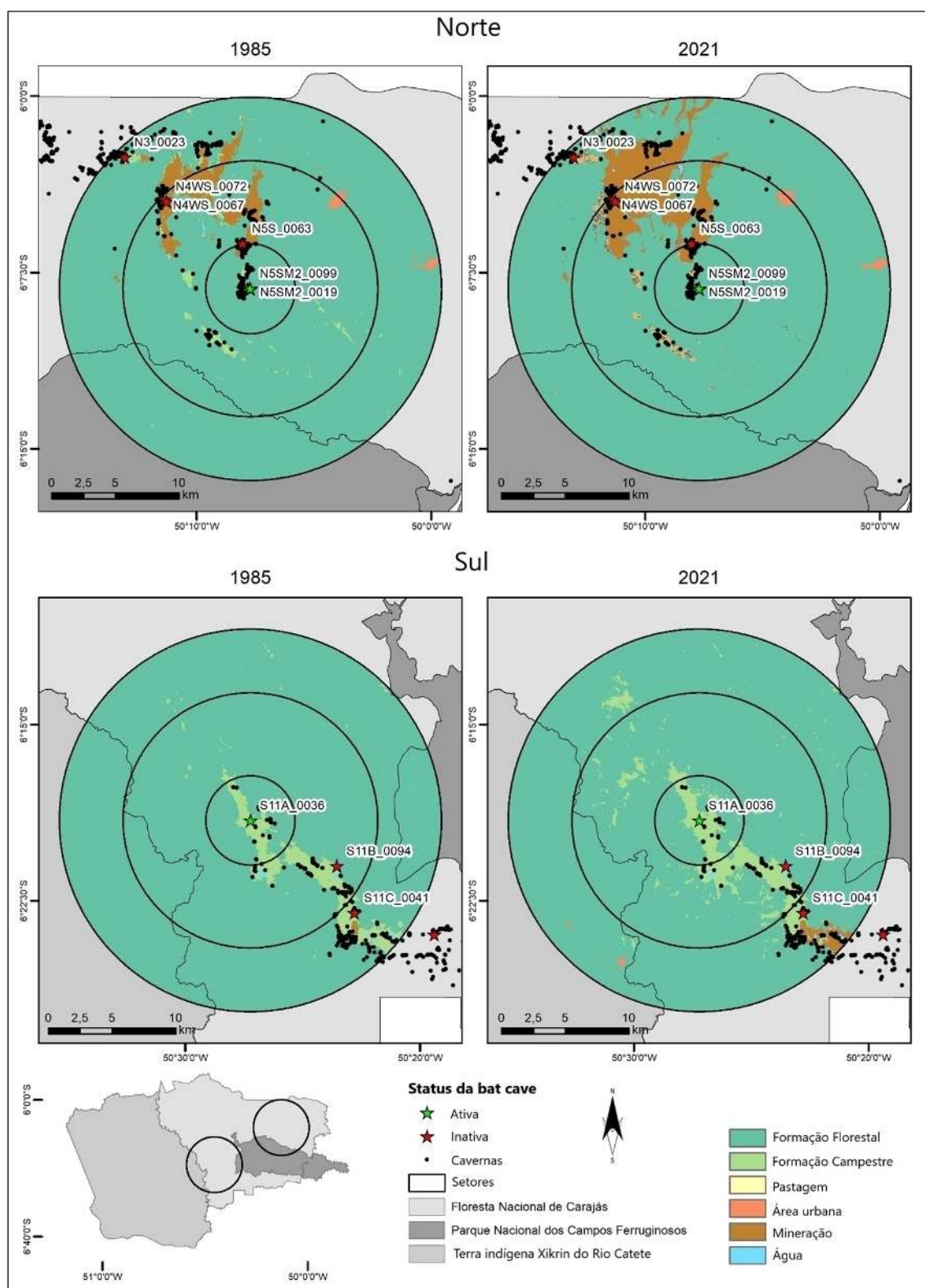


Figura 3 - Mapas de uso e cobertura do solo de 1985 e 2021. Fonte: Elaborado pelos autores com base no MapBiomias.

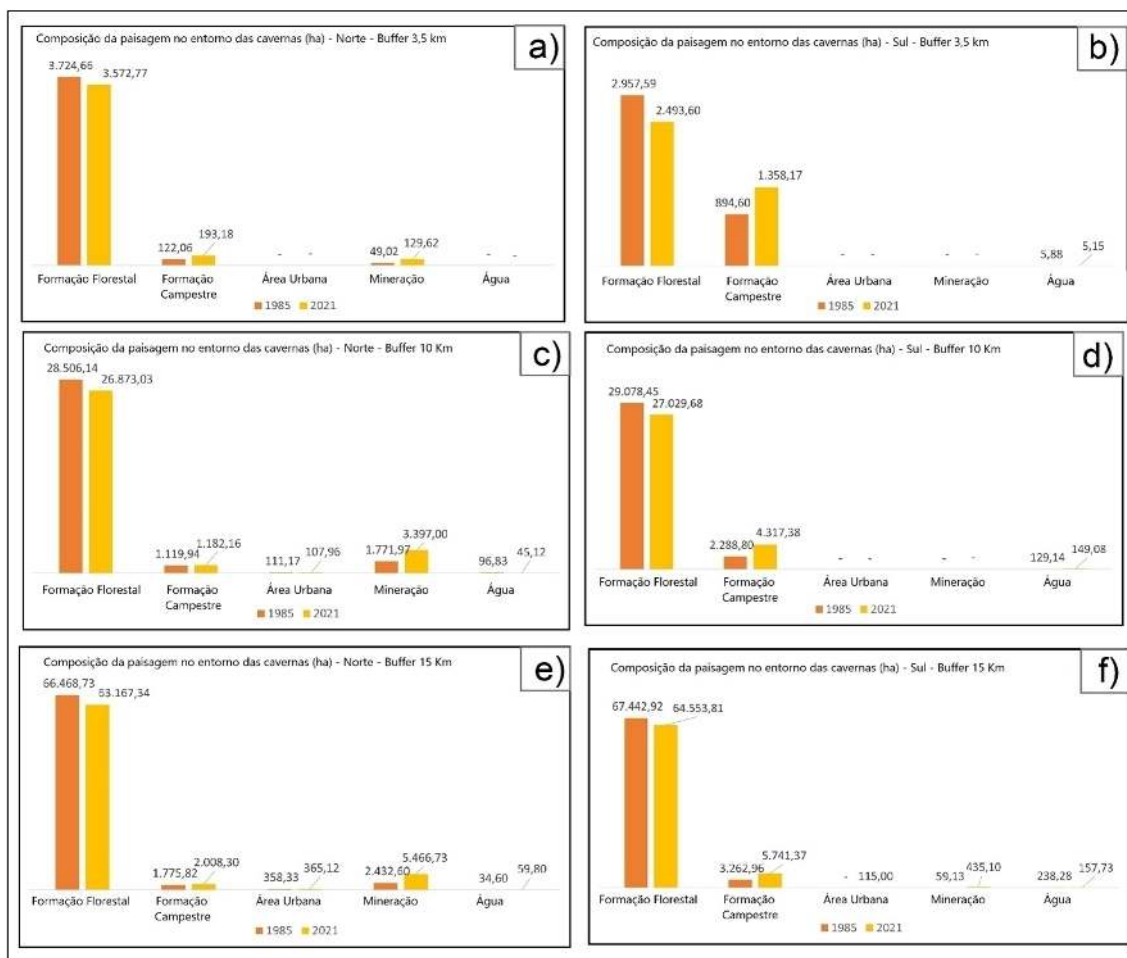


Figura 4 - Gráficos de transição da composição da paisagem de 1985 a 2021. a) e b) para um buffer de 3,5 km; c) e d) para um buffer de 10,0 km; e) e f) para um buffer de 15,0 km. Fonte: Elaborado pelos autores.

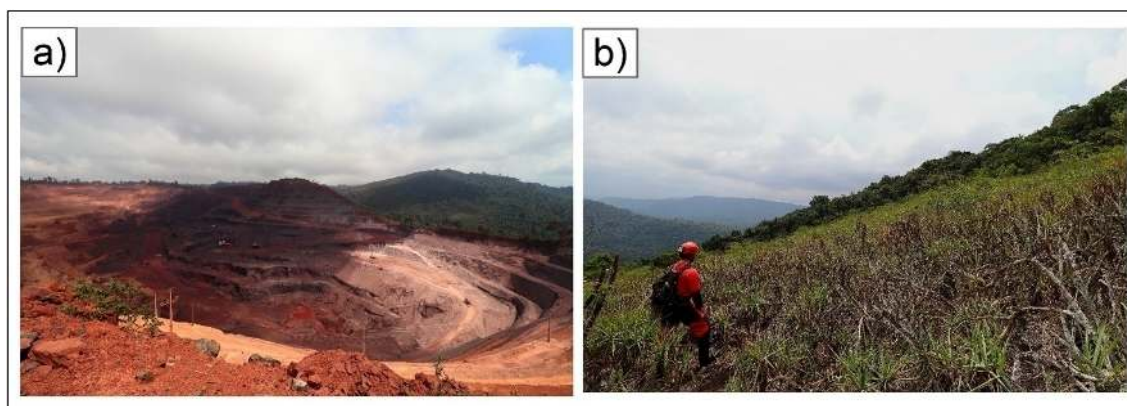


Figura 5 - a) Cava de mineração (N5) localizada a aproximadamente 2,2 km das cavernas e b) Vegetação a cerca de 60 metros das cavernas N5SM2_0019 e N5SM2_0099. Fonte: Dados da pesquisa.

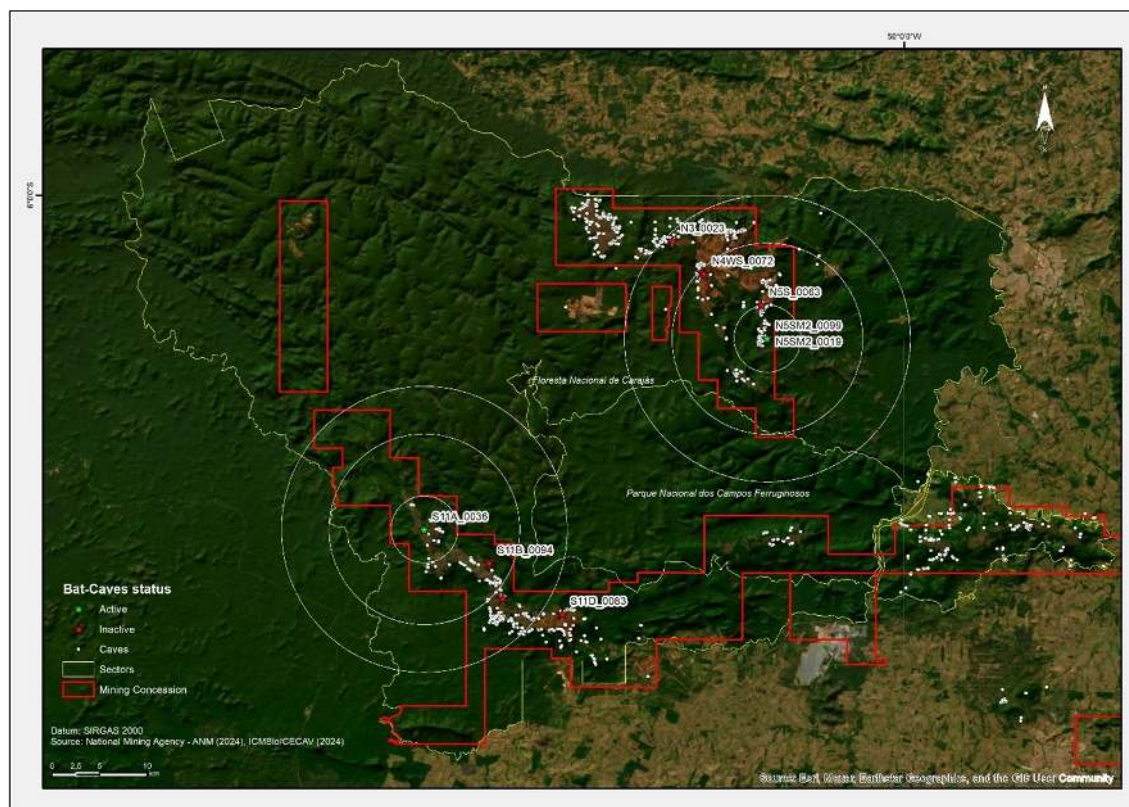


Figura 6 - Polígonos de mineração da Agência Nacional de Mineração e a localização das cavernas dentro das Unidades de Conservação mencionadas. Fonte: Elaborado pelos autores.

CONCLUSÕES

Este estudo analisou a evolução das áreas ao redor das cavernas de morcegos no Geossistema Ferruginoso de Carajás entre 1985 e 2022, destacando a importância da conservação da geodiversidade nesse contexto único. As transformações no uso e cobertura do solo ao longo das décadas fornecem percepções valiosas sobre mudanças espaço-temporais e os crescentes riscos de degradação ambiental.

Os resultados deste estudo não apenas contribuem para o corpo de conhecimento existente na literatura sobre conservação da geodiversidade e espeleologia, mas também oferecem uma base sólida para pesquisas futuras. Investigações focadas no monitoramento contínuo das áreas mineradas e seus impactos ecológicos podem ajudar a aprimorar as estratégias de gestão e conservação dessas áreas sensíveis.

Além disso, as tentativas de alterar a legislação de proteção de cavernas, como o Decreto 10.935 de 12 de janeiro de 2022, que permitiria impactos irreversíveis em cavernas de alta relevância, representam um desafio adicional para a conservação desses habitats únicos. Qualquer mudança regulatória proposta exige uma revisão crítica das políticas ambientais e destaca a necessidade de um diálogo mais profundo entre pesquisadores, formuladores de políticas e a indústria mineradora, para garantir que o desenvolvimento econômico não ocorra às custas da destruição irreversível do patrimônio natural. Ao refletir sobre a sustentabilidade das práticas de mineração na região, fica claro que é necessário um equilíbrio mais robusto entre a extração de recursos e a conservação ambiental. A degradação das áreas de forrageamento e as perturbações nas cavernas de morcegos podem ter consequências profundas, não apenas para a biodiversidade local, mas também para os processos ecológicos fundamentais que sustentam esses ecossistemas. A preservação da geodiversidade, em sinergia com a conservação da biodiversidade, deve ser imperativa para garantir a longevidade desses ecossistemas e a continuidade dos serviços ecossistêmicos que eles proporcionam.

Por fim, este estudo reforça a importância de uma gestão ambiental integrada e baseada em evidências, capaz de enfrentar efetivamente os desafios colocados pelas atividades de mineração e pelas mudanças regulatórias. A continuidade dos esforços de pesquisa e monitoramento, juntamente com políticas públicas bem fundamentadas, é crucial para proteger as cavernas e os ecossistemas adjacentes, garantindo um futuro sustentável para a região.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Brasileiro de Desenvolvimento e Sustentabilidade (IABS) pela gestão operacional do projeto “Valores da Geodiversidade em Parques Nacionais”, considerando sua contribuição para a conservação e valorização do patrimônio espeleológico, conforme previsto no Edital de Chamamento Público 01/2021, TCCE 1/2018/ICMBio.

Ao CNPq pelas Bolsas de Produtividade em Pesquisa.

REFERÊNCIAS

- BAETA, A. M. M. Os Grafismos Rupestres e suas Unidades Estilísticas no Carste de Lagoa Santa e Serra do Cipó – MG. 2011. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 347, de 10 de setembro de 2004. Estabelece critérios para a proteção de cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 17 set. 2004.
- CALUX, A. S. Gênese e desenvolvimento de cavidades naturais subterrâneas em Formação Ferrífera no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. 2013. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.
- CARMO, F. F. Importância Ambiental e Estado de Conservação dos Ecossistemas de Cangas no Quadrilátero Ferrífero e Proposta de Áreas-Alvo para a Investigação e Proteção da Biodiversidade em Minas Gerais. 2010. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.
- CARMO, F. F.; SALGADO, A. A. S.; JACOBI, C. M. Novo sítio espeleológico em sistemas ferruginosos, no vale do rio Peixe Bravo, norte de Minas Gerais, Brasil. Espeleo-Tema, Campinas, v. 1, n. 22, p. 25-39, 2011.
- CAVALCANTI, L. F.; LIMA, M. F.; MEDEIROS, R. C. S.; MEGUERDITCHIAN, S. Plano de ação nacional para a conservação do patrimônio espeleológico nas áreas cársticas da Bacia do Rio São Francisco. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, Instituto Chico Mendes, 2012. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/pan/pan-cavernas-do-sao-francisco/1-ciclo/pan-cavernas-livro.pdf>. Acesso em: 18 set. 2024.
- CECAV. Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas – CANIE. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/centros-de-pesquisa/cavernas/cadastro-nacional-de-informacoes-espeleologicas/canie>. Acesso em: 15 jan. 2024.
- DUTRA, G. Síntese dos processos de gênese de cavidades em litologias de ferro. In: RASTEIRO, M. A.; MORATO, L. (Orgs.). Congresso Brasileiro de Espeleologia. Campinas: SBE, 2013. p. 415-426.
- FERREIRA, R. L.; DE OLIVEIRA, M. P. A.; SILVA, M. S. Subterranean Biodiversity in Ferruginous Landscapes. In: MOLDOVAN, O.; KOVÁČ, E.; HALSE, S. (Eds). Cave Ecology. Ecological Studies, vol. 235. Cham: Springer, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-98852-8_21.
- FREIRE, J. Valoração de serviços de supressão de insetos por morcegos: uma revisão. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciências Biológicas - Bacharelado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023.

FUREY, N. M.; RACEY, P. A. Conservation ecology of cave bats. In: VOIGT, C. C.; KINGSTON, T. (Eds.). *Bats in the Anthropocene: Conservation of Bats in a Changing World*. Cham: Springer, 2015. p. 463-500. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-25220-9>.

GOMES, M.; RUCHKYS, Ú.; FERREIRA, R. L.; GOULART, F. F. Landscape fragmentation around ferruginous caves of the Iron Quadrangle, Minas Gerais, Brazil. *Cuadernos de Geografia: Revista Colombiana de Geografía*, v.28, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.15446/rcdg.v28n1.67506>.

ITO, F.; LILLEY, T.; TWORT, V. G.; BERNARD, E. High genetic connectivity among large populations of *Pteronotus gymnotus* in bat caves in Brazil and its implications for conservation. *Frontiers in Ecology and Evolution*, v. 10, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.934633>.

LANG, S.; BLASCHKE, T. *Análise da Paisagem com SIG*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

LOBATO, L. M.; et al. A mineralização hidrotermal de ferro da Província Mineral de Carajás – Controle estrutural e contexto na evolução metalogenética da província. In: MARINI, O. J.; QUEIROZ, E. T.; RAMOS, B. W. (Eds.). *Caracterização de depósitos minerais em distritos mineiros da Amazônia*. Brasília: DNPM/CT-Mineral/FINEP/ADIMB, 2005. p. 25-92.

MACAMBIRA, J. B. O ambiente Depositional da Formação Carajás e uma Proposta de Modelo Evolutivo para a Bacia Grão Pará. 2003. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

MAPBIOMAS. Coleção de Séries de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil [dataset]. 2023. Disponível em: <http://mapbiomas.org/>.

MEDELLIN, R. A.; WIEDERHOLT, R.; LOPEZ-HOFFMAN, L. Conservation relevance of bat caves for biodiversity and ecosystem services. *Biological Conservation*, v. 211, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.01.012>.

MENIN, D. de S.; BACCI, D. de L. C. Serviços Espeleossistêmicos: como caracterizar as cavernas sobre o ponto de vista da Economia Ecológica e dos Serviços Geossistêmicos? *Revista do Instituto de Geociências – USP*, v.23, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v23-205328>.

MONTEIRO, H. S.; VASCONCELOS, P. M.; FARLEY, K. A.; SPIER, C. A.; MELLO, C. L. (U–Th)/He geochronology of goethite and the origin and evolution of cangas. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v.131, 2014. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.gca.2014.01.036>.

MOURÃO, M. A. A. M. Caracterização Hidrogeológica do Aquífero Cauê, Quadrilátero Ferrífero, MG. 2007. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

PENNISI, L. A.; HOLLAND, S. M.; STEIN, T. V. Achieving Bat Conservation Through Tourism. *Journal of Ecotourism*, v. 3, 2004. Disponível em:

<https://doi.org/10.1080/14664200508668432>.

PEREIRA, M. C. Aspectos Genéticos e Morfológicos das Cavidades Naturais da Serra da Piedade, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

PILO, L. B.; CALUX, A.; SCHERER, R.; BERNARD, E. Bats as ecosystem engineers in iron ore caves in the Caraja's National Forest, Brazilian Amazonia. *PLoS ONE*, v. 18, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0267870>.

ROSIÈRE, C. A. Formações Ferríferas e Minérios de Alto Teor Associados. In: RUCHKYS, U. A.; RASTEIRO, M.; TRAVASSOS, L. P.; FARIA, L. (Orgs.). *Patrimônio Espeleológico em rochas ferruginosas: propostas para sua conservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. Campinas: SBE, 2015.

RUCHKYS, U. Patrimônio Geológico e Geoconservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: Potencial para a Criação de um Geopark da UNESCO. 2007. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

RUCHKYS, U. A.; MACHADO, M. M. M.; CASTRO, P. T. A.; RENGGER, F. E.; TREVISOL, A.; BEATO, D. A. C. Geoparque Quadrilátero Ferrífero (MG)- Proposta. In: SCHOBENHAUS, C.; SILVA, C. R. (Orgs.). Geoparques do Brasil: Propostas. Rio de Janeiro: CPRM, 2012. p. 183-220.

RUCHKYS, U. A.; RENGGER, F. E.; NOCE, C. M.; MACHADO, M. M. M. Serra da Piedade, Quadrilátero Ferrífero, MG - da lenda do Sabarabuçu ao patrimônio histórico, geológico, paisagístico e religioso. In: WINGE, M.; SCHOBENHAUS, C.; BERBERT-BORN, M.; QUEIROZ, E. T.; CAMPOS, D. A.; SOUZA, C. R. G.; FERNANDES, A. C. S. (Orgs.). Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. Brasília: CPRM, 2009.

RUCHKYS, U. A.; TRAVASSOS, L. E. P.; RASTEIRO, M. A.; FARIA, L. E. Patrimônio Espeleológico em Rochas Ferruginosas: Propostas para sua Conservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Campinas: Sociedade Brasileira de Espeleologia, 2015.

SALGADO, A. A. R. Apresentação. In: CARMO, F. F.; KAMINO, L. H. Y. (Orgs.). Geossistemas Ferruginosos do Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais. Belo Horizonte: 31 Editora, 2015. p. 9-11.

TRENDALL, A. F.; MORRIS, R. C. (Eds.). Iron-Formation Facts and Problems. Amsterdam: Elsevier, 1983. (Developments in Precambrian Geology, v. 6). Disponível em: [https://doi.org/10.1016/s0166-2635\(08\)x7002-1](https://doi.org/10.1016/s0166-2635(08)x7002-1).

URBAN, J.; RADWANEK-BAK, B.; MARGIELEWSKI, W. Geoheritage Concept in a Context of Abiotic Ecosystem Services (Geosystem Services) – How to Argue the Geoconservation Better? Geoheritage, v. 54, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12371-022-00688-7>.

VOIGT, C. C.; PHELPS, K. L.; AGUIRRE, L. F.; CORRIE SCHOEMAN, M.; VANITHARANI, J.; ZUBAID, A. Bats and Buildings: The Conservation of Synanthropic Bats. In: VOIGT, C. C.; KINGSTON, T. (Eds.). Bats in the Anthropocene: Conservation of Bats in a Changing World. Cham: Springer, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-25220-9_14.

WOO, K. S.; KIM, L. Geoheritage Evaluation of Caves in Korea: A Case Study of Limestone Caves. In: REYNARD, E.; BRILHA, J. (Orgs.). Geoheritage: Assessment, Protection, and Management. Amsterdam: Elsevier, 2018. p. 373-386.

Afiliação dos Autores

Ruchkys, U.A. - Professora da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte (MG), Brasil.

Gomes, M. - Universidade Federal de Minas Gerais, Nova Lima (MG), Brasil.

Santos, D. J. - Universidade Federal de Minas Gerais, Nova Lima (MG), Brasil.

Travassos, L.E.P. - Professor na Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Contribuição dos Autores

Ruchkys, U.A. - O autor contribuiu para a elaboração, realização e manipulação dos dados e redação.

Gomes, M. - O autor contribuiu para a elaboração, realização e manipulação dos dados e redação.

Santos, D. J. - O autor contribuiu para a elaboração, realização e manipulação dos dados e redação.

Travassos, L.E.P. - O autor contribuiu para a elaboração, realização e manipulação dos dados e redação.

Editores Responsáveis

Alexandra Maria Oliveira

Alexandre Queiroz Pereira