

MAPEAMENTO CIENTOMÉTRICO SOBRE PALEONTOLOGIA EM CAVERNAS BRASILEIRAS NO SÉCULO XXI

SCIENTOMETRIC MAPPING OF PALEONTOLOGY IN BRAZILIAN CAVES IN THE 21ST CENTURY

MAPEO CIENTOMÉTRICO SOBRE PALEONTOLOGÍA EN CAVERNAS BRASILEÑAS EN EL SIGLO XXI

Welberth Pereira Pimenta

Bacharel em Geologia, Universidade Federal do Ceará (UFC), welberthpp@alu.ufc.br, <https://orcid.org/0000-0002-0979-8114>

Daniela Teixeira Dutra

Bacharela em Geologia, Universidade Federal do Ceará (UFC), danieladtd@alu.ufc.br, <https://orcid.org/0000-0002-0141-7487>

César Ulisses Vieira Veríssimo

Doutor em Geologia Regional, Universidade Federal do Ceará (UFC), verissimo@ufc.br, <https://orcid.org/0000-0002-5055-9617>

Wellington Ferreira da Silva Filho

Doutor em Geociências, Universidade Federal do Ceará (UFC), welfer@ufc.br, <https://orcid.org/0000-0002-1292-3836>

Iris Pereira Gomes

Mestra em Geologia, Serviço Geológico do Brasil (SGB), iris.gomes@sgb.gov.br, <https://orcid.org/0000-0003-4965-5553>

RESUMO: Devido à proteção contra a meteorização ao longo de extensos períodos de tempo, o interior das cavernas constitui um ambiente esplêndido para a preservação de fósseis. No entanto, constata-se uma carência de informações sistemáticas sobre a ocorrência desses registros em cavernas brasileiras. Diante disso, este estudo propôs mapear e caracterizar as cavidades naturais com ocorrência paleontológica em todo o país. A metodologia incluiu uma revisão detalhada do arcabouço intelectual, com foco em pesquisas publicadas no século XXI, coleta de metadados geoespaciais e tabulação dos dados. Com o conteúdo, criou-se um banco de dados que, após análise e interpretação, resultou na plotagem de gráficos e um mapa de registros como produto final. Os resultados mostraram que as palavras-chave "Caverna; Paleontologia" resultaram em 56,1% dos achados. 75,6% das cavernas com fósseis são encontradas em calcário, e o Grupo Bambuí apresentou os maiores casos de registros. A maioria dos fósseis indica idades Quaternárias e são de mamíferos da mega fauna. A Bahia foi o estado com mais publicações sobre o tema, e o *hotspot* encontra-se no município de Campo Formoso. As regiões Norte e Sul apresentaram carência de pesquisas sobre o assunto. A pesquisa concluiu que é necessário incluir mais dados geológicos de campo em trabalhos futuros e que a probabilidade de ocorrência de cavernas em rochas magmáticas pode ser maior do que o proposto atualmente. Ademais, os resultados apontam para possíveis novas cavernas e sugerem a atualização de dados geoespaciais e a criação de uma plataforma online para compartilhamento de dados científicos.

Palavras-chave: Espeleologia; Paleontologia; Cavidades Naturais; Fósseis; Cientometria.

ABSTRACT: Due to their protection against weathering over long periods of time, the interior of caves constitutes a splendid environment for the preservation of fossils. However, there is a lack of systematic information on the occurrence of these records in Brazilian caves. In view of this, this study proposed to map and characterize natural cavities with paleontological occurrence throughout the country. The methodology included a detailed review of the intellectual framework, focusing on research published in the 21st century, collection of geospatial metadata and tabulation of data. With the content, a database was created that, after analysis and interpretation, resulted in the plotting of graphs and a map of records as the final product. The results showed that the keywords "Cave; Paleontology" resulted in 56.1% of the finds. 75.6% of the caves with fossils are found in limestone, and the Bambuí Group presented the largest number of records. Most of the fossils indicate Quaternary ages and are from megafauna mammals. Bahia was the state with the most publications on the subject, and the hotspot is located in the municipality of Campo Formoso. The North and South regions showed a lack of research on the subject. The research concluded that it is necessary to include more geological field data in future studies and that the probability of occurrence of caves in magmatic rocks may be greater than currently proposed. Furthermore, the results point to possible new caves and suggest updating geospatial data and creating an online platform for sharing scientific data.

Keywords: Speleology; Paleontology; Natural Cavities; Fossils; Scientometrics.

RESUMEN: Debido a la protección contra la intemperie durante largos períodos de tiempo, el interior de las cuevas constituye un entorno espléndido para la preservación de fósiles. Sin embargo, falta información sistemática sobre la ocurrencia de estos registros en cuevas brasileñas. Por ello, este estudio se propuso mapear y caracterizar las cavidades naturales con ocurrencia paleontológica a lo largo del país. La metodología incluyó una revisión detallada del marco intelectual, centrándose en la investigación publicada en el siglo XXI, la recopilación de metadatos geoespaciales y la tabulación de datos. Con el contenido se creó una base de datos que, luego de su análisis e interpretación, dio como resultado la elaboración de gráficos y un mapa de registros como producto final. Los resultados mostraron que las palabras clave "Cueva; Paleontología" dieron lugar al 56,1% de los hallazgos. El 75,6% de las cuevas con fósiles se encuentran en calizas, y el Grupo Bambuí presentó los mayores casos registrados. La mayoría de los fósiles indican edades Cuaternarias y pertenecen a mamíferos megafauna. Bahía fue el estado con más publicaciones sobre el tema y el foco de atención está en el municipio de Campo Formoso. Las regiones Norte y Sur mostraron una falta de investigación sobre el tema. La investigación concluyó que es necesario incluir más datos de campo geológicos en trabajos futuros y que la probabilidad de que se produzcan cuevas en rocas magmáticas puede ser mayor de lo que se propone actualmente. Además, los resultados apuntan a posibles nuevas cuevas y sugieren actualizar los datos geoespaciales y crear una plataforma en línea para compartir datos científicos.

Palabras clave: Espeleología; Paleontología; Cavidades Naturales; Fósiles; Cientometría.

1. INTRODUÇÃO

Cavernas são cavidades naturais formadas em rochas, com dimensões suficientes para a entrada de seres humanos ou animais, e sua formação é influenciada por diversos fatores, incluindo a litologia, a estrutura geológica, o clima e a atividade biológica. Essas cavidades naturais podem apresentar diversas configurações, desde galerias horizontais até salões verticais, e são encontradas em rochas sedimentares, ígneas e metamórficas (BICALHO 2003 *APUD* FERNANDES, 2020).

A vida de uma caverna é marcada por constantes transformações, desde a gênese na zona freática até o desenvolvimento na zona vadosa. A geoespeleologia é o ramo da geologia que se dedica ao estudo das cavernas, analisando sua formação, as rochas que as compõem, os processos que as moldam e os depósitos sedimentares que nelas se acumulam. Além disso, as cavernas se destacam por sua rica biodiversidade e patrimônio histórico, como sítios arqueológicos e paleontológicos que fornecem informações valiosas sobre a história da vida na Terra (CRUZ; PILÓ, 2019).

A partir do século XIX, a descoberta de cavernas brasileiras por exploradores levou à revelação de que várias cavidades naturais contêm registros paleontológicos significativos (CRUZ; PILÓ, 2019). Os trabalhos de Peter Lund marcaram o início dos estudos paleontológicos em cavernas, nos quais ele estabeleceu, de forma sistemática, inferências sobre o estado de preservação dos fósseis encontrados em depósitos cavernícolas, correlacionando-os com os processos geológicos e biológicos que atuaram sobre eles. Os estudos de sucessores de Lund, embora não tenham se dedicado exclusivamente à tafonomia, realizaram trabalhos que ampliaram substancialmente o conhecimento sobre os depósitos fossilíferos em cavernas brasileiras, fornecendo dados importantes para a compreensão dos processos de fossilização e da paleobiodiversidade no carste. A partir dos anos 2000, o estudo de fósseis em cavernas nacionais ganhou maior destaque, com um aumento na descrição das características dos depósitos e das modificações sofridas pelos fósseis (VASCONCELOS, 2018).

Inúmeras cavernas no Brasil possuem uma abundância de material fóssil pertencente à megafauna extinta e, de acordo com Bergqvist e Almeida (2003), as cavernas são os locais onde se encontram o maior número de achados fósseis de mamíferos no Brasil. Ao longo de milênios, rios subterrâneos e inundações transportaram ossos de animais para o interior das mesmas. Nas profundezas dessas cavidades, os ossos são protegidos da precipitação, do vento, do sol e de outras criaturas, permitindo assim que os processos de fossilização ocorram. Esses processos podem incluir a incrustação de espeleotemas nos ossos ou a substituição da matéria óssea por substâncias minerais. No entanto, nem sempre é necessário que o transporte ocorra por meio de sistemas fluviais. Certos animais entravam voluntariamente nas cavernas, talvez em busca de água, e morriam nelas. Passados vários milhares de anos, através de estudos espeleológicos, foi possível descobrir esses restos solitários (PILÓ *et al.*, 2013).

As descobertas em cavernas possibilitam uma compreensão mais aprofundada da história da vida na Terra. Ao analisar os fósseis encontrados nesses ambientes, é possível reconstruir as mudanças climáticas, geológicas e biológicas ocorridas ao longo do tempo, bem como as complexas relações ecológicas que existiam entre os organismos. Nesse sentido, o levantamento do potencial paleoespeleológico é fundamental para ampliar o conhecimento sobre a história natural do planeta (SOUZA E AULER, 2018).

As cavernas, além de oferecerem uma visão do passado, também fornecem caminhos potenciais para uma melhor compreensão das mesmas, sendo de fundamental importância a sua preservação. Nesta perspectiva, uma investigação mais específica pode contribuir para agregar conhecimento sobre as cavernas do Brasil e seu legado paleontológico.

Considerando a importância das cavidades naturais como repositórios de vestígios sobre a história da vida na Terra, em especial durante a Era Cenozoica, esta análise cromometrífica teve como objetivo principal realizar um levantamento de unidades espeleológicas com registros paleontológicos em todo o território nacional, abrangendo o período de 2001 a 2023, atual século XXI. A pesquisa buscou não apenas mapear a localização dessas cavernas, mas também detalhar as descobertas realizadas, com o intuito de construir um banco de dados que possa servir como base para futuras pesquisas. A ausência de um levantamento sobre o tema destaca a relevância desta pesquisa, que busca contribuir para o enriquecimento do conhecimento científico sobre a paleontologia em cavernas brasileiras.

1.1. Geomorfologia Cárstica

O carste é um ambiente dinâmico, moldado pela interação entre a água e rochas solúveis, resultando em uma morfologia singular. Os relevos cársticos se desenvolvem em diferentes escalas, desde microformas até grandes paisagens, e são caracterizados por diversas feições produzidas principalmente por processos de dissolução da rocha.

O processo fundamental que dá origem ao desenvolvimento de formações cársticas em regiões calcárias pode ser expresso sucintamente pela seguinte equação química: $\text{CaCO}_3(s) + \text{CO}_2(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) = \text{Ca}^{2+}(aq) + 2\text{HCO}_3^-(aq)$. A água da chuva, ao absorver o dióxido de carbono atmosférico acidifica-se, e ao entrar em contato com o calcário, dissolve o carbonato de cálcio da rocha, originando feições cársticas superficiais. Posteriormente, essa mesma água ao penetrar no solo, entra em contato com o dióxido de carbono liberado pelas raízes das plantas e pela decomposição da matéria orgânica, aumentando sua acidez. Essa solução aquosa mais ácida, ao atingir a rocha carbonática, intensifica os processos de dissolução, tanto na interface solo-rocha quanto no interior da rocha, originando as cavernas (AULER; PILÓ, 2019).

Moore e Sullivan (1997) destacam que os processos de dissolução em cavernas podem se prolongar por milhares de anos. No entanto, esses processos podem ser interrompidos por dois eventos: a redução do nível da água subterrânea, que seca a caverna e diminui a dissolução, e a exposição da caverna ao ar atmosférico, causada pela erosão superficial. A abertura de uma entrada na caverna permite a entrada de ar, reduzindo a concentração de gás carbônico e alterando o equilíbrio químico, o que favorece a deposição de calcita em vez da dissolução.

Entre as anomalias das áreas cársticas, podemos notar a ausência de rios em superfície, pois a maioria das águas corre por canais subterrâneos. Além do mais, as rochas carbonáticas e outras rochas em menores proporções, como sal, gesso, arenitos e quartzitos, são dissolvidas pela água ácida, resultando em características peculiares, como lapiás, sumidouros, dolinas, surgências e, em ambientes subterrâneos, cavernas e outras feições características do carste (AULER; PILÓ, 2019).

Lino (2009) propôs uma classificação para a paisagem cárstica, dividindo-a em dois grandes grupos: o carste primário, que engloba as formas resultantes da destruição das rochas, como cavernas e dolinas, e o carste secundário, que corresponde às formas construídas por deposição de minerais, como estalactites e estalagmitas.

A paisagem cárstica ainda pode ser dividida em dois grandes domínios morfológicos: o exocarste, que engloba as feições superficiais, como dolinas, sumidouros e vales cegos, e o endocarste, que se desenvolve no subsolo, caracterizado por um complexo sistema de cavernas e galerias. Essas feições atuam como verdadeiras armadilhas sedimentares, capturando e preservando tanto sedimentos originários da própria região quanto materiais transportados de outras áreas, incluindo restos de organismos; contudo, a preservação desses materiais depende das condições ambientais específicas de cada local (VASCONCELOS, 2014).

1.2. Principais Regiões Que Abrangem Cavidades Subterrâneas No Brasil

O Grupo Bambuí representa uma importante unidade litoestratigráfica espeleológica, constituída por rochas sedimentares depositadas durante o Neoproterozoico sobre o Cráton São Francisco e inserida no contexto do Supergrupo São Francisco. Esta unidade, que se estende por Minas Gerais, Bahia, Tocantins e Goiás, apresenta a maior concentração de rochas carbonáticas favoráveis ao desenvolvimento de cavidades subterrâneas do Brasil. Regiões como Lagoa Santa, Arcos, Pains e o Vale do Rio Peruaçu, em Minas Gerais, notabilizam-se pela abundância de cavernas e pela importância de seus sítios arqueológicos, conforme destacado por Piló e Rubbioli (2002). Em Goiás, as regiões de São Domingos e Mambaí se destacam pela presença de grandes sistemas cársticos. Os carbonatos do Grupo Una, presentes na Região Central e Norte da Bahia, concentram cavernas diferenciadas, especialmente nas regiões da Chapada Diamantina e de Campo Formoso. Nesses locais, encontram-se importantes cavidades como a Lapa Doce, a Toca da Boa Vista e a Toca da Barriguda, sendo as duas últimas consideradas as maiores do país. A Formação Caatinga, com seus afloramentos calcários próximos a essas cavernas, contribui para a diversidade espeleológica da região (CRUZ; PILÓ, 2019).

A Região Sul de São Paulo e Nordeste do Paraná abriga um expressivo número de cavernas, formadas em rochas carbonáticas do Grupo Açungui. O Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira, em São Paulo, concentra a maior parte dessas cavidades, como a Caverna Santana e a Caverna Los Três Amigos. O vizinho Parque Estadual da Caverna do Diabo abriga a conhecida caverna turística de mesmo nome. No Paraná, predominam cavernas menores, enquanto em Santa Catarina, os calcários do Grupo Brusque abrigam a famosa Gruta Botuverá (CRUZ; PILÓ, 2019).

A Região Centro-Oeste do Brasil, especialmente Mato Grosso do Sul e Mato Grosso, abriga importantes depósitos de rochas carbonáticas dos grupos Corumbá e Araras, respectivamente. A Serra da Bodoquena, no Mato Grosso do Sul, destaca-se por suas belas cavernas inundadas, próximas à cidade de Bonito, enquanto a região de Nobres, no Mato Grosso, também concentra um número expressivo de cavidades naturais. Afloramentos calcários também ocorrem em estados como Rondônia, Pará e Amazonas, com destaque para a região de Itaituba, no Pará, onde novas cavernas têm sido descobertas (CRUZ; PILÓ, 2019).

No Nordeste, os calcários dos grupos Apodi e Ubajara, presentes no Rio Grande do Norte e Ceará, abrigam diversas cavernas de pequeno porte e algumas pouco conhecidas, destacando-se a Gruta de Ubajara. No restante do Brasil, calcários e dolomitos são comuns, com potencial espeleológico variável e pouco explorado em certas regiões (CRUZ; PILÓ, 2019).

No que diz respeito à diversidade litológica, o Brasil destaca-se no cenário mundial da espeleologia em quartzitos. A região centro-sul de Minas Gerais concentra as cavernas mais profundas do país, com destaque para a Gruta do Centenário, a Gruta da Bocaina e a Gruta Alaouf, todas localizadas no Pico do Inficionado. Cavernas em arenito estão espalhadas por todo o território nacional, com concentrações significativas na Chapada dos Guimarães (Mato Grosso), em São Paulo, no Paraná e no interior do Piauí, além de muitas cavernas de grande porte espalhadas em várias regiões da Amazônia. Ademais, um número considerável de pequenas cavidades naturais em minério de ferro foi identificado na região sul de Belo Horizonte, com extensão para as serras do Espinhaço e dos Carajás. Além disso, o Brasil também possui cavernas em diversos outros litotipos, como granito, gnaisse e bauxita, mas geralmente de menor porte (CRUZ; PILÓ, 2019).

1.3. Sedimentação E Fossilização Nas Cavidades Naturais

A sedimentação cavernícola, um processo geológico que envolve a deposição de materiais em cavernas, manifesta-se de diversas maneiras. Pode ocorrer desde a entrada de materiais rochosos com granulometria variável, comumente chamada de sedimentação clástica, até a deposição de materiais por meio de processos químicos a partir da ação da água, quando esta dissolve certas substâncias, conhecida como sedimentação química. De igual maneira, o fornecimento de materiais constituídos organicamente também pode contribuir para a sedimentação em cavernas. Esses depósitos se acumulam nas galerias das cavidades em diferentes pontos durante sua evolução e têm imensa importância para compreender o desenvolvimento da caverna, bem como o ambiente circundante (AULER; PILÓ, 2019).

Os principais minerais constituintes das unidades espeleológicas são a calcita e a aragonita, um polimorfo da calcita que se apresenta com hábito semelhante a agulhas. Esses minerais formam a maior parte das stalactites, stalagmites e outras espeleotemas. Estima-se que esses dois minerais representem cerca de 95% de todos os depósitos minerais cavernícolas (SHAW, 1992; WINGE, 2001). Um espeleotema é um depósito mineral secundário que se forma por meio de diferentes processos dentro de uma caverna, originado pela deposição dos minerais dissolvidos em água que goteja ou flui pelas paredes e teto da cavidade (MOORE, 1952; HILL e FORTI, 1997).

A presença de depósitos sedimentares clásticos, provenientes de fontes externas e compostos por partículas de areia, silte e cascalho, em conjunto com depósitos químicos, formados principalmente pela precipitação de carbonato de cálcio (calcita), aumenta o potencial de conservação de restos orgânicos e favorece a fossilização. Por isso, as cavernas se tornam importantes depósitos paleontológicos, fornecendo informações valiosas não apenas sobre a vida passada, mas também sobre a evolução geológica da região (Souza; Auler, 2018).

Os carbonatos encontrados no sedimento clástico ou aqueles depositados nas paredes, teto e piso da caverna podem estabelecer um ambiente protetor para restos orgânicos, particularmente para componentes duros, como ossos, dentes, conchas e carapaças, promovendo sua preservação, como observou Lund (1837), isso mantém a integridade desses materiais orgânicos ao longo do tempo.

Depósitos compostos por sedimentos bem selecionados e de granulação fina indicam um ambiente de sedimentação tranquilo, propício à preservação de materiais orgânicos. Do ponto de vista paleontológico, esses locais são de grande importância, pois promovem a preservação de partes menores e mais frágeis da estrutura esquelética. Em contraste, depósitos contendo conglomerados e brechas, que são rochas formadas por fragmentos minerais maiores que 2 milímetros de diâmetro cimentados por sedimentos mais finos, são mais frequentes em ambientes de alta energia, representando um risco para o fóssil, pois pode ocorrer a destruição parcial ou total dos restos orgânicos, comprometendo sua preservação dentro das cavernas. A preservação e o destino final dos restos orgânicos são determinados significativamente pelos ambientes de sedimentação (SOUZA; AULER, 2018). A imagem a seguir (Figura 1) apresenta alguns modelos de tipos de depósitos sedimentares em cavernas.

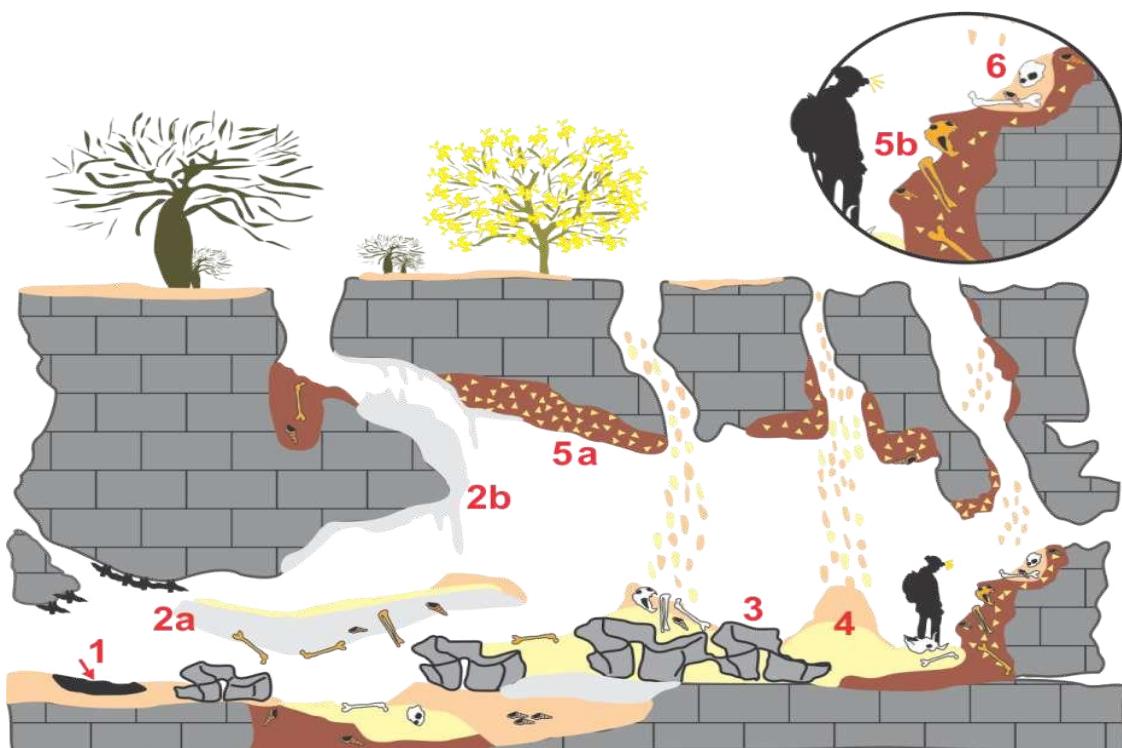


Figura 1 – Modelos de possíveis tipos de depósitos cavernícolas: (1) Guano de morcego; (2a) e (2b) Depósitos químicos, respectivamente paleopiso e escorrimientos; (3) Blocos desmoronados; (4) Sedimentos recentes [argila, areia, cascalho]; (5a) e (5b) Brechas sedimentar e fossilífera, respectivamente; (6) Subfósseis [conchas, ossos e restos orgânicos recentes não-fossilizados]. Fonte: Lino e Allievi (1980 *apud* Souza e Auler, 2018).

Peter Lund identificou diversos mecanismos de transporte de fósseis para o interior das cavernas, como a queda de animais em abismos, o arrasto por enxurradas, a entrada de animais em busca de recursos e a morte de animais cavernícolas ou de suas presas dentro das cavidades.

Além do mais, os sistemas de cavernas são abundantes em depósitos fósseis de vertebrados, especialmente restos de mamíferos. Em cavernas carbonáticas, a fossilização ocorre por meio de diversos processos, como incrustação, permineralização, substituição, recristalização, mumificação, moldagem e contramoldagem (CASSAB, 2004).

A incrustação é um processo de fossilização em que os restos orgânicos são recobertos por minerais precipitados a partir de soluções aquosas. Essa camada mineral protege as estruturas internas, retardando a decomposição (MEDEIROS, 2010). O gotejamento ou a presença de lâminas de água nas cavernas facilita a precipitação de minerais, formando incrustações nos fósseis.

A permineralização é comum na fossilização de vertebrados, onde minerais preenchem os espaços internos dos ossos, promovendo sua preservação. A presença de água facilita a infiltração desses minerais, permitindo a fossilização até mesmo de estruturas delicadas. A percolação de fluidos ricos em minerais, provenientes do local de deposição ou de fontes externas, contribui para a permineralização (BENTON; HARPER, 2009). O preenchimento de cavidades ósseas pode ocorrer por deposição de minerais como quartzo, argilas e rutilo, provenientes da superfície. No subsolo, minerais como pirita, barita, esfalerita e celestina, além de quartzo, podem preencher essas cavidades durante ou após a exumação, acompanhado de outros sulfatos, óxidos e hidróxidos (FERNANDES, 2023).

O fenômeno da substituição mineral em fósseis é um processo de troca dos elementos originais por outros mais estáveis no ambiente. A hidroxiapatita, principal componente dos ossos, pode ser substituída por diversos minerais. A silicificação, comum em ambientes ácidos e ricos em sílica dissolvida, ocorre pela substituição gradual da hidroxiapatita por sílica. A pirita,

por sua vez, se forma em ambientes marinhos ou argilosos, ricos em matéria orgânica e bactérias, que promovem a redução de sulfatos e a precipitação de sulfeto de ferro. Por fim, a dolomitização ocorre em ambientes alcalinos, substituindo a calcita pela dolomita. Apesar dessas alterações, a morfologia original dos fósseis é frequentemente preservada (Fernandes, 2020).

A recristalização é um processo que ocorre em ossos de vertebrados, onde os cristais primários, como aragonita ou apatita, se tornam instáveis devido às mudanças físico-químicas do sistema, levando a um rearranjo da estrutura cristalina sem alterar a química do mineral (TRUEMAN, 1999). A transformação da aragonita em calcita é favorecida por fluidos com baixa saturação em relação à aragonita e alta saturação em relação à calcita. Fatores como a taxa de fluxo de água, a composição química do fluido e a concentração de CO₂ influenciam significativamente esse processo (Spötl *et al.*, 2005; Scholz *et al.*, 2014 *apud* Fernandes, 2023).

A mumificação é um processo de fossilização que ocorre em regiões áridas, preservando tanto tecidos duros quanto moles por meio de desidratação, congelamento ou solidificação. Substâncias presentes no ambiente tornam esses tecidos impermeáveis, garantindo sua conservação (AUFDERHEIDE, 2003; SIMÕES e HOLZ, 2004; CASSAB, 2004).

E a moldagem é um tipo de fossilização que ocorre quando um organismo se decompõe após ser soterrado por sedimentos, deixando um molde de si mesmo. Esses moldes podem ser preenchidos por outros materiais, formando contramoldagens (MENDES, 1988; CASSAB, 2004). A permineralização por calcita e óxidos/hidróxidos de Fe e Mn, e a substituição e recristalização do osso por apatita são os processos diagenéticos mais comuns (FERNANDES, 2020).

2. METODOLOGIA DO TRABALHO

Esta cientometria foi realizada em cinco etapas, descritas a seguir e ilustradas no fluxograma abaixo (Figura 2). Adotou-se a metodologia PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), proposta por Moher *et al.* (2009), onde o objetivo é fornecer subsídios para a elaboração de revisões sistemáticas e meta-análises, visando à melhoria da transparência e da qualidade dos estudos por meio de uma sequência estruturada de etapas.

Primeiramente, foram definidas as palavras-chave para verificar o atual estado da arte do assunto para a busca de artigos *peer review*, literaturas cíntentas, resumos etc, que foram utilizados como base bibliográfica da pesquisa. As palavras-chave escolhidas foram: Caverna, Cavidade Natural, Paleontologia e Fóssil. Essas palavras foram selecionadas por serem mais abrangentes e acuradas ao tema, segundo pesquisas prévias realizadas pelos autores. A estratégia de uso das palavras-chave foi estabelecida de forma a unir as duas grandes áreas da pesquisa – Espeleologia e Paleontologia – em método de cruzamento com duas palavras-chave por vez, levando-se em conta que a área base elementar é a espeleologia; por exemplo: paleontologia e caverna; fóssil e caverna.

Na segunda etapa, realizaram-se pesquisas em sites de busca específicos, como o Google Acadêmico e o Portal brasileiro de publicações e dados científicos em acesso aberto (Oasisbr); e em um banco de dados com amplo conteúdo sobre o tema: os Anais do Congresso Brasileiro de Espeleologia (CBE). Metadados também foram coletados para o banco de dados em sites com informações relevantes sobre o assunto. Entre as fontes, podemos citar o Cadastro Nacional de Cavernas (CNC), criado pela Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE); o Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV), vinculado ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio); e a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE). O CNC/SBE forneceu informações sobre as localidades das cavernas, especialmente quando tais informações estavam ausentes na literatura. Já o CECAV/ICMBio e a INDE foram cruciais para a aquisição de dados geoespaciais em formato vetorial. Estes dados forneceram a relação das áreas com ocorrência de cavernas em âmbito nacional e suas respectivas litologias,

além de mapas-base que foram posteriormente tratados em um Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Na terceira etapa, foi realizada a filtragem de todos os dados bibliográficos resultantes. Os considerados adequados ao tema foram selecionados para inserção na base de dados. Este procedimento envolveu a agregação de artigos acadêmicos publicados em língua portuguesa e de escopo nacional, no período de 2001 a 2023, para uma melhor representação temporal do século atual. Além disso, foram obtidos os dados geográficos e as informações temporais e valorativas dos achados paleontológicos em ambientes cársticos.

Na quarta etapa, após o agregamento e filtragem de todo o arcabouço intelectual encontrado, contou-se com a organização e tabulação do estado da arte, quantificando e qualificando o conhecimento científico dentro do tema proposto. As entradas dos dados foram organizadas e tabuladas através de um programa de planilhas em nuvem do Google, chamado Planilhas. Para tabulação, levou-se em conta os seguintes itens em cada artigo: identificação geral da entrada, corpus/buscador utilizado para pesquisa, palavra-chave, classificação geral do fóssil, táxon, tempo geológico, município de localização, estado federativo, unidade cárstica, litologia, unidade litoestratigráfica, coordenadas em UTM, ano da publicação, título do trabalho e periódico. Para conhecimento, o termo “entrada” aqui se refere ao conhecimento científico publicado sobre o assunto do presente trabalho.

Finalmente, na quinta etapa do processo, executou-se o geoprocessamento e o tratamento dos dados adquiridos nas etapas anteriores para a criação dos mapas e gráficos de representatividade. A geração dos gráficos ocorreu no Planilhas, onde cruzaram-se os dados referentes à quantidade de estudos com diversas variáveis, como: palavras-chave, litologia, litoestratigrafia, ambiente cárstico, escala temporal, revistas científicas, ano, estados, municípios e a taxonomia geral dos fósseis encontrados nas cavernas. Já os mapas foram elaborados a partir de dados geoespaciais previamente obtidos e, a partir disso, foram plotados pontos com a localização dos achados paleontológicos nas cavidades naturais. Para isso, usou-se o software livre QGIS em seu estado de estabilidade LTR e versão 3.22, em um sistema operacional Unix. Neste procedimento, utilizou-se das coordenadas geográficas extraídas de cada trabalho individual. Nos casos em que essas informações não estavam acessíveis, recorreu-se ao CNC e/ou ao emprego de uma estimativa geoestatística de aproximação de área, especificamente da localização das regiões cársticas ou da posição do município em questão, a fim de georreferenciar com maior acuracidade possível a plotagem dos pontos. Todos esses dados auxiliares passaram por um processo de tratamento geoespacial, de forma a terem como resultado o sistema de referência de coordenadas EPSG: 4989 – SIRGAS 2000 em unidades geográficas, usando o método geodésico de latitude e longitude e escala de trabalho de 1:25.000.000. Frisa-se que esse processo foi conduzido com o máximo cuidado para garantir uma saída final precisa e confiável.

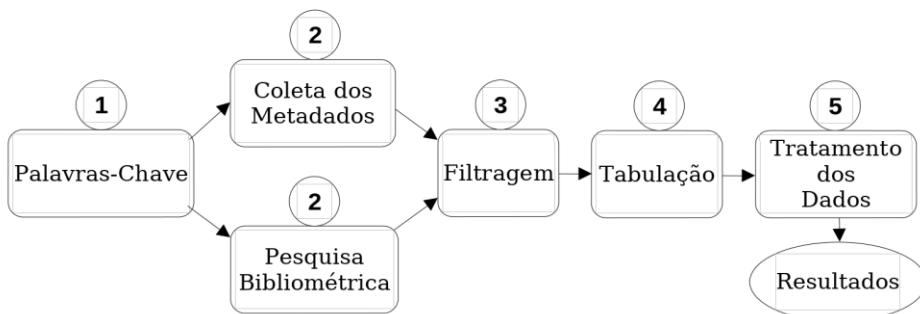


Figura 2 – Fluxograma do processo metodológico. Fonte: Autores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente estudo adota uma abordagem teórico-empírica indireta, baseada em uma revisão bibliográfica minuciosa. Utilizando métodos estatísticos, analisou-se dados de trabalhos publicados a partir de 2001 referente ao tema central.

A escolha pelo Google Acadêmico foi devido à plataforma possuir um alto índice de alcance de entradas, uma vez que seu motor de busca indexa várias fontes de conteúdo científico, dentre as quais: anais, livros, periódicos, repositórios institucionais, *preprints*, resumos, relatórios técnicos, etc. Esta fonte de busca vem alcançando até 90% das entradas disponíveis na internet (KHABSA; GILES, 2014), tornando-se um dos mais amplos buscadores científicos da atualidade.

O Oasisbr centraliza a produção científica e os dados de pesquisa disponíveis em acesso aberto, publicados em diversas fontes, como revistas, repositórios digitais de publicações, repositórios de dados de pesquisa e bibliotecas digitais de teses e dissertações, permitindo o acesso a uma ampla variedade de documentos que contêm informações científicas, incluindo: artigos, livros, capítulos de livros, trabalhos apresentados em conferências, conjuntos de dados de pesquisa, *preprints*, dissertações, teses, trabalhos de conclusão de curso, entre outros, sendo uma alternativa nacional similar ao Google Acadêmico.

A outra fonte de pesquisa foi os Anais do Congresso Brasileiro de Espeleologia (ISSN 2178-2113), sob responsabilidade da Sociedade Brasileira de Espeleologia. Por meio de pesquisas iniciais, os autores concluíram que o repositório possui um quantitativo relevante de entradas sobre os temas da pesquisa, tornando-a uma fonte de buscas auxiliar para a base de dados.

Vale ressaltar que algumas fontes, como os jornais da *Elsevier*, *Nature*, *Science*, entre outros, não são de acesso aberto. Por esse motivo, essas fontes não foram contabilizadas devido ao acesso restrito (embora a quantidade encontrada não tenha sido significativa, já que a pesquisa se concentrou em publicações em português).

Na fase preliminar da investigação bibliográfica, que ocorreu de janeiro a junho de 2023, um total de 113 artigos foram adquiridos através das plataformas citadas anteriormente. Em seguida, um conjunto de padrões de elegibilidade foi implementado para garantir que os artigos escolhidos fossem de alta qualidade e pertinência. De acordo com esses critérios, 55 artigos foram considerados insatisfatórios e, portanto, excluídos da revisão. Consequentemente, uma contagem final de 58 artigos foi submetida a um exame minucioso e considerados adequados para leitura completa.

3.1. Palavras-Chave

A análise das informações com base nos artigos selecionados em relação às palavras-chave “Caverna; Paleontologia” e “Caverna; Fóssil” retornou um resultado de 56,1% e 43,9%, respectivamente (Gráfico 1). A palavra-chave “Cavidade Natural” foi usada posteriormente em conjunto com as demais, mas os resultados foram irrelevantes, retornando apenas duplicatas.

Essas informações revelam os diferentes graus de relevância e significância das palavras-chave e dos artigos que foram incluídos no processo de revisão.

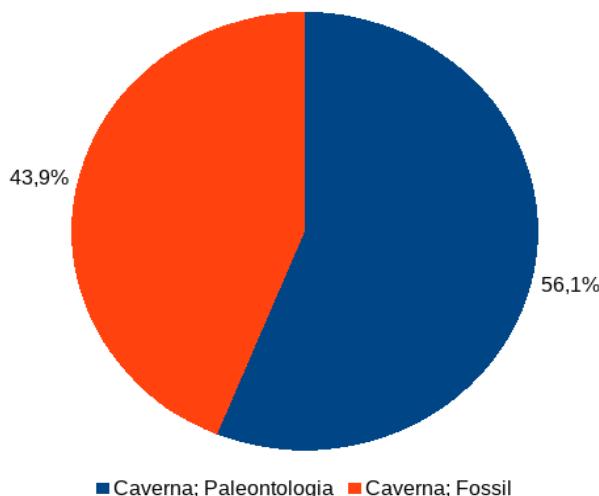


Gráfico 1 – Palavras-chave utilizadas com respectiva porcentagem de retorno das entradas. Fonte: Autores.

3.2. Litologia

Uma parcela significativa do território brasileiro apresenta condições adequadas para o surgimento de ambientes cársticos, que podem se manifestar em várias litologias. De acordo com os resultados a seguir (Gráfico 2), onde são demonstradas as ocorrências litológicas dos ambientes cavernosos no Brasil, cerca de mais da metade das cavidades naturais brasileiras com achados fósseis encontram-se em ambientes com litologia carbonática, especialmente o calcário (75,6%). O carste, um processo geológico responsável pela formação de cavernas, está presente de forma mais robusta em rochas carbonáticas densas, como o calcário, que se caracteriza por sua estratificação fina e alto nível de fraturamento. No entanto, também pode se manifestar em outros tipos de rochas carbonáticas, como mármore e dolomitos. Além disso, ocorrências cavernícolas foram observadas em formações ferríferas bandadas (BIFs) (6,7%), sedimentos inconsolidados (6,7%), arenitos (4,4%), mármore (4,4%), entre outros, destacando a diversidade de substratos geológicos nos quais sistemas de cavernas podem se formar.

Segundo Jansen, Cavalcanti e Lamblém (2012), rochas do tipo calcário, dolomito, evaporito, metacalcário, formação ferrífera bandada, itabirito e jaspilito apresentam potencialidade muito alta para ocorrência de cavernas. Calcrete, carbonatito, mármore e marga mostram um grau alto. Arenito, conglomerado, filito, folhelho, fosforito, grauvaca, metaconglomerado, metapelito, metassiltito, micaxisto, milonito, quartzito, pelito, riolito, ritmito, rocha calcissilicática, siltito e xisto possuem potencial médio para surgimento de cavernas. Anortosito, arcóseo, *augen* gnaisse, basalto, charnockito, diabásio, diamictito, enderbito, gabro, gnaisse, granito, granitoide, granodiorito, *hornfels*, kinzigiton, komatiito, laterita, metachert, migmatito, monzogranito, olivina gabro, ortoanfibolito, sienito, sienogranito, tonalito, trondhjemito, entre outros litotipos, demonstram uma baixa probabilidade para incidência de cavernas. Por fim, aluvião, areia, argila, cascalho, lamito, linhito, turfa e outros sedimentos possuem ocorrência improvável.

Cavernas conhecidas desenvolvidas em rochas duras (magmáticas e metamórficas) ainda são minoria no Brasil, mesmo o território possuindo vastos terrenos graníticos associados a grande parte da extensão do embasamento das coberturas fanerozoicas (Hasui *et al.*, 2012). Isso pode significar que as atuais ocorrências não representam a realidade, pois pouca prospecção e exploração espeleológica foram realizadas nesses domínios litológicos (Mochiutti; Tomazzoli, 2019).

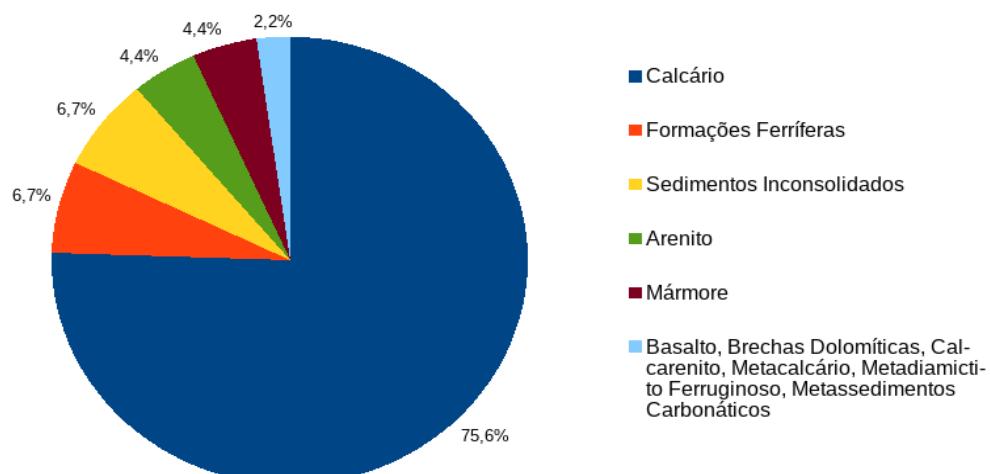


Gráfico 2 – Litologia das áreas cársticas com ocorrências fossilíferas. Fonte: Autores.

3.3. Estratigrafia

Uma unidade estratigráfica refere-se a um volume de rocha de origem identificável e intervalo de idade relativo. É definida por suas características petrográficas, litológicas ou paleontológicas únicas, dominantes, facilmente reconhecíveis e mapeáveis. Uma hierarquia formal foi proposta para classificar essas unidades, que inclui o supergrupo, o grupo, a formação, o membro, a camada, a supersuíte, a suíte, o corpo, o derrame e o complexo. Essas classificações auxiliam na identificação e mapeamento de unidades estratigráficas, permitindo que os pesquisadores entendam melhor a história geológica de uma área (Petri *et al.*, 1986; MURPHY e SALVADOR, 1999).

A cintometria aqui realizada revelou que as unidades litoestratigráficas sob investigação (Gráfico 3) exibem uma notável abundância de registros dentro do Grupo Bambuí, conforme evidenciado por 31,6% das pesquisas que referenciam esse grupo. Além disso, é importante notar que a Formação Salitre também demonstrou um número considerável de referências, com 21,1% das entradas. Essas observações têm um grau de importância e podem fornecer informações valiosas sobre a história geológica e a evolução paleontológica nas regiões.

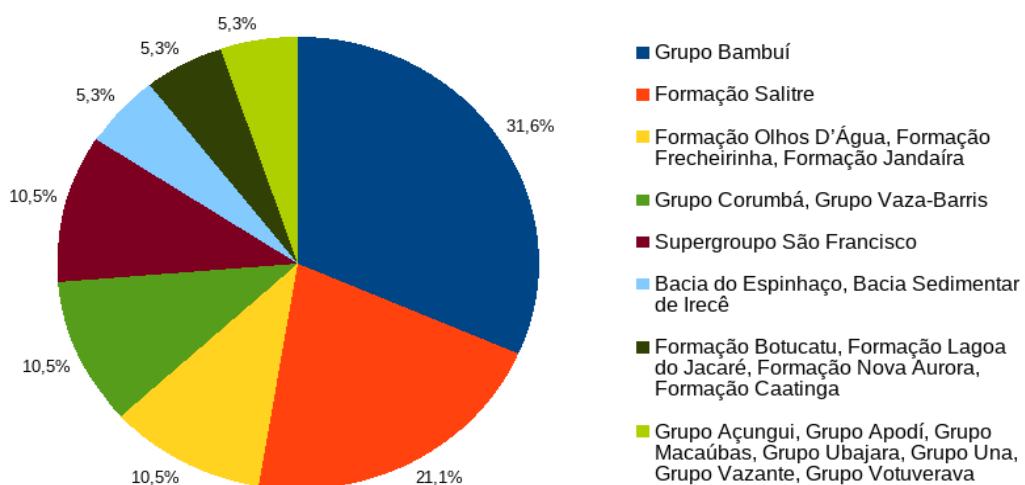


Gráfico 3 – Balanço de achados em unidades litoestratigráficas. Fonte: Autores.

3.4. Áreas Cársticas

As regiões cársticas com ocorrência de cavernas também foram averiguadas através deste estudo, que apontou 50 localidades cavernícolas com registro de achados paleontológicos no século XXI em âmbito nacional. São elas: Abismo de Simão Dias, Abismo Ponta de Flecha, Alto Vale do Ribeira, Caverna Bom Pastor, Caverna das Borboletas, Caverna de Lagoa Santa, Caverna do Mocororó, Caverna dos Três Buracos, Caverna Teto de Coral, Caverna Toco-que-não-cai, Cavernas Lajedo da Escada, Cavidade ES-08, Cavidade Linha Mimosa, Fazenda São José, Gruta Cuvieri, Gruta da Descoberta, Gruta da Lapinha, Gruta da Marota, Gruta da Presa I, Gruta da Raposa, Gruta das Fadas, Gruta Forever, Gruta do Ronan I, Gruta do Urso Fóssil, Gruta do Pendurado, Gruta dos Brejões, Gruta Parque das Mangabeiras III, Gruta Tacho de Ouro, Lapa do Bode, Lapa do Rezar, Lapa dos Bichos, Poço Azul de Milú, Sítio Paleontológico João Cativo, Sumidouro do Sansão, Tanque Grande, Tanque Lajedo II, Tanque Sítio Novo, Toca da Barriguda, Toca da Boa Vista, Toca da Onça, Toca da Pedreira, Toca da Raposa, Toca das Onças, Toca do Angico, Toca do Gordo do Garrincho, Toca do Serrote das Moendas, Toca dos Ossos, Toca Fria, Toca Jatobá e Vale do Rio Peixe Bravo.

3.5. Tempo Geológico

No que diz respeito à escala temporal, a esmagadora maioria dos achados fósseis dentre os anos de 2001 a 2023 desta pesquisa apontam para idades Cenozoicas, principalmente no Período Quaternário. Embora fósseis do Período Cretáceo também tenham sido reportados, foram as Épocas Pleistocênicas e Holocênicas que mais se destacaram. Ao todo, 57,8% dos fósseis encontrados pertencem ao Pleistoceno, seguidos por 31,1% do Holoceno. O Quaternário, um Período na escala de tempo geológico que engloba tanto o Pleistoceno quanto o Holoceno, representa 31,1% do total de fósseis encontrados. Essas informações são sintetizadas abaixo (Gráfico 4).

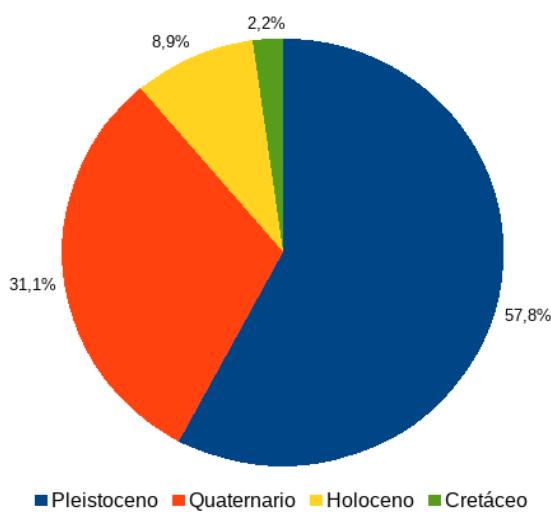


Gráfico 4 – Idade dos fósseis encontrados nas cavernas brasileiras no século XXI. Fonte: Autores.

3.6. Periódicos

Em relação aos periódicos acadêmicos, abaixo, apresentamos um compêndio inclusivo de todas as revistas científicas que, ao longo do século XXI, publicaram artigos que dizem respeito ao campo da paleontologia nas cavernas brasileiras (Gráfico 5).

A presente investigação retornou um total de 16 periódicos, cada um contendo uma variedade de publicações das mais diversas e variadas áreas do conhecimento que são pertinentes ao tema do estudo. A fração preponderante dos resultados foi centralizada nos Anais do Congresso Brasileiro de Espeleologia, com 18 trabalhos publicados. Além disso, uma proporção considerável da pesquisa foi derivada de literatura cinzenta, incluindo manuscritos acadêmicos como trabalhos de conclusão de graduação, dissertações de mestrado e teses de doutorado, com um total de 16 estudos, indicando assim a ampla variedade de fontes das quais o tema paleontologia em cavernas foi obtido.

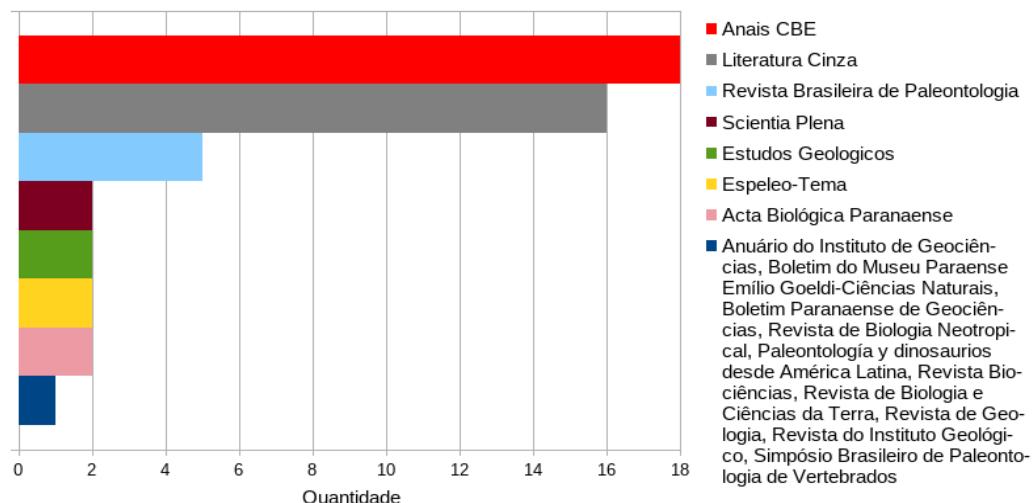


Gráfico 5 – Periódicos relacionados a paleontologia em cavernas. Fonte: Autores.

3.7. Publicações Nos Últimos Anos

As pesquisas e, consequentemente, as publicações sobre paleontologia em unidades espeleológicas no século XXI não apresentaram uma expressividade numérica considerável, no entendimento dos autores. Nesta perspectiva, sugere-se a exploração de outras fontes ou a revisão da sistemática de busca para um possível aumento no número de resultados. De qualquer forma, o ano de 2017 e os anos de 2011, 2013, 2018 e 2022 foram apontados como tendo o maior número de publicações nas quais as palavras-chave estão presentes. Essas informações são claramente demonstradas na análise estatística abaixo (Gráfico 6 e Tabela 1), que apresenta o total de estudos e a prevalência da paleontologia em cavernas como objeto de pesquisa durante o período abordado.

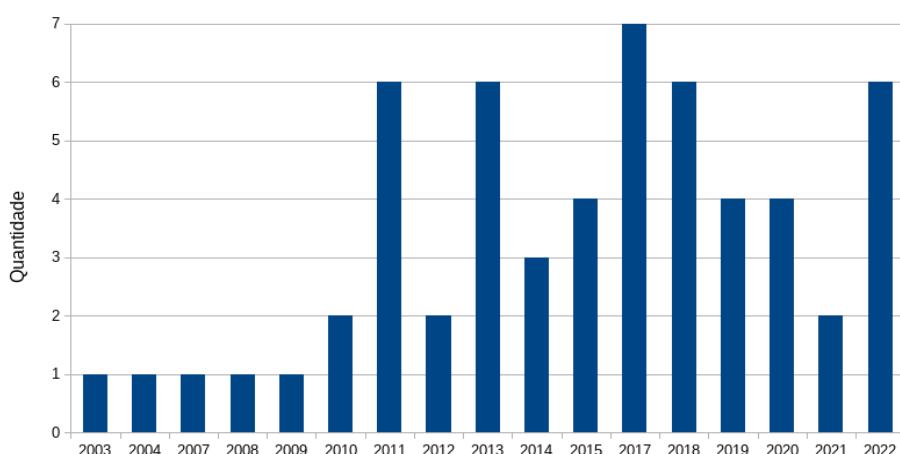


Gráfico 6 – Total de publicações sobre paleontologia em cavernas entre os anos de 2001 e 2023. Fonte: Autores.

Tabela 1 – Períodos com maiores números de artigos publicados.

Ano	Nº de Publicações
2011	6
2013	6
2017	7
2018	6
2022	6

Fonte: Autores.

3.8. Quantitativo De Publicações Por Estado

A análise dos resultados abaixo (Gráfico 7) mostra que, nos últimos anos, o estado da Bahia deu um significativo destaque à pesquisa paleontológica conduzida em cavernas, resultando na publicação de 21 trabalhos. A caracterização do estado da Bahia, de acordo com a Sociedade Brasileira de Espeleologia, indica que este local possui um vasto e inexplorado potencial espeleológico. Um dos aspectos mais importantes desse potencial é o enorme tamanho das cavernas presentes nesta região. Apesar de existirem muitas cavernas no local, elas permanecem em grande parte inexploradas e, portanto, oferecem uma oportunidade única para pesquisa e descobertas (DE JESUS, 2023).

O estado de Minas Gerais aparece em segundo lugar no quesito publicações sobre paleontologia em cavidades naturais, oferecendo 12 trabalhos nos últimos anos. Embora sejam relativamente comuns pesquisas paleontológicas em terras mineiras, estudos e descobertas continuam acontecendo na região, corroborando com o clássico paradigma de que o território é o berço da paleontologia e espeleologia brasileira.

Os estados de Sergipe e do Ceará aparecem em seguida no campo dos estudos espeleopaleontológicos, tendo produzido um total de 6 e 5 publicações reconhecidas científicamente, respectivamente. A Gruta do Urso Fóssil, situada no Parque Nacional de Ubajara (CE), é uma das regiões cársticas mais estudadas. Vale destacar que o referido parque é responsável pela preservação e conservação de um total de onze cavernas, cada uma contendo riqueza de informações valiosas que podem servir como um verdadeiro tesouro de conhecimento para o pesquisador e, consequentemente, para o campo científico. Além disso, pode-se encontrar no local um dos mais belos exemplares de relevo cárstico do Brasil (VERÍSSIMO, 2005).

Esses resultados fornecem informações importantes sobre a distribuição de investigações científicas em vários estados brasileiros e podem ser úteis para rastrear o progresso da exploração científica espeleopaleontológica em diferentes regiões, destacando as lacunas nas pesquisas que exigem maior atenção e merecem uma investigação mais aprofundada.


Gráfico 7 – Total de publicações sobre paleontologia em cavidades naturais por estado entre os anos de 2001 a 2023. Fonte: Autores.

3.9. Municípios Com Ocorrências Paleontológicas Em Cavernas

Campo Formoso (BA) e Lagoa Santa (MG) aparecem dentre os municípios que apresentaram mais publicações sobre os temas em questão, além de Paripiranga (BA) e Ubajara (CE). Os dois primeiros forneceram um total de 5 trabalhos sobre espeleopaleontologia cada, e os dois últimos forneceram 4 trabalhos cada. Além disso, 3 artigos descrevem achados espeleopaleontológicos em Aurora do Tocantins (TO), Ourolândia (BA), Simão Dias (SE) e Iporanga (SP). As demais cidades contribuíram apenas com um total de dois ou um trabalho, conforme ilustração a seguir (Gráfico 8).

O município de Campo Formoso, no estado da Bahia, abriga a Toca da Boa Vista, a maior caverna do hemisfério sul, com cerca de 115 km de galerias mapeadas. Ela é acompanhada por cavernas vizinhas, incluindo as Tocas da Barriguda, do Calor de Cima, do Pitu e do Morrinho. Juntas, formam uma coleção de importância geoespeleológica mundial e são consideradas algumas das cavernas mais pesquisadas no Brasil. No mesmo município, fósseis importantes já foram descobertos, incluindo o chamado *Cartellettes Coimbrafilhoi*, que corresponde a uma espécie de macaco fóssil pertencente à família *Atelidae*. Esta espécie em particular é a única descrita para o gênero *Cartellettes*. Além disso, é reconhecido como o fóssil de macaco mais completo e bem preservado em todo o mundo e é considerado o maior macaco já descoberto nas Américas. Esses fósseis foram encontrados especificamente na Toca da Boa Vista (Auler; Smart, 2002). De acordo com os pesquisadores, o fóssil de *Cartellettes Coimbrafilhoi* é uma das descobertas mais cruciais para reconstruir a história evolutiva, ainda relativamente desconhecida, dos macacos dessa região.

Quando falamos especificamente em cavernas, é impossível ignorar o Carste de Lagoa Santa, que é conhecido por ser a região com a maior concentração de cavidades naturais por unidade de área do país. Esse conjunto de cavernas e abrigos abrange uma infinidade de fósseis do Pleistoceno, incluindo a infame megafauna extinta, bem como os vestígios mais significativos da habitação humana pré-histórica no Brasil. Essas relíquias inestimáveis consistem em painéis rupestres, utensílios e ossos, e sua idade remonta a aproximadamente 12.000 anos antes do presente (AP) (PROUS *et al.*, 1998).

Tais observações evidenciam a relevância de alguns municípios para os estudos paleoespeleológicos brasileiros.

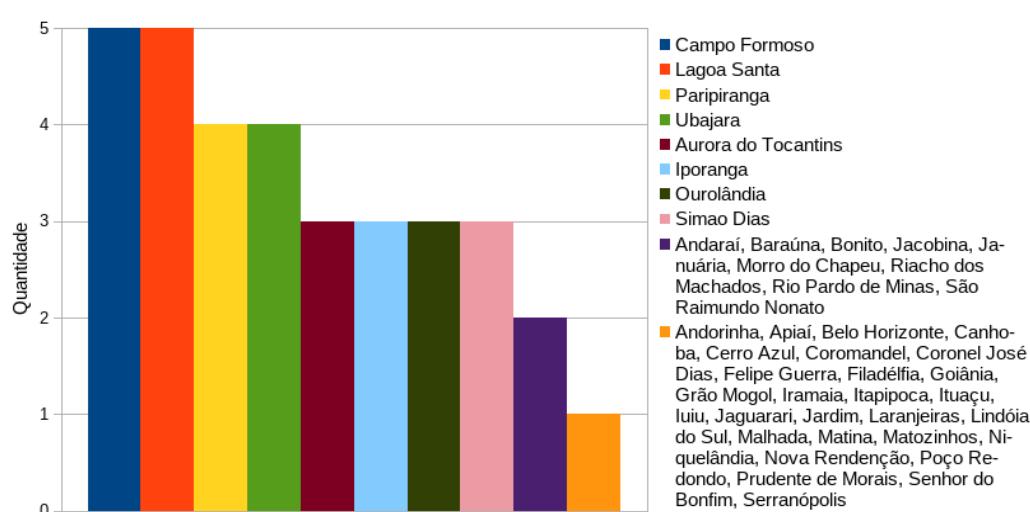


Gráfico 8 – Total de material sobre paleontologia encontrado nas cavernas de alguns municípios brasileiros entre os anos de 2001 a 2023. Fonte: Autores.

3.10. Classificação Taxonômica Geral

Muito do conhecimento atual sobre o estudo de mamíferos durante a Época do Pleistoceno é derivado de pesquisas em cavernas. Os restos faunísticos das espécies extintas descobertas dentro dos limites dos depósitos cavernícolas exibem uma vasta gama de diversidade e complexidade, particularmente em relação à chamada “megafauna”, que engloba uma infinidade de espécies robustas. Vale ressaltar que os humanos coabitaram com algumas dessas criaturas por um período relativamente breve. Aproximadamente dez mil anos atrás, iniciou-se a extinção dessa fauna singular (AULER; PILÓ, 2019).

Depósitos Pleistocênicos com fósseis de mamíferos são comuns no Brasil em tanques e cavernas. A maior diversidade de mamíferos fósseis está no sudeste do país, enquanto a região Centro-Oeste tem a menor diversidade. A abundância de cavernas nos estados de Minas Gerais e São Paulo contribui para essa diferença. Minas Gerais é o estado brasileiro mais diverso em termos de mamíferos fósseis, seguido pela Bahia; ambos da época do Pleistoceno (BERGQVIST, 2004). Uma descoberta fascinante revelou que os fósseis de mamíferos mais antigos da Terra foram encontrados no Brasil, datando aproximadamente 225 milhões de anos, do período Triássico, Idade Noriana. Isso indica que os mamíferos placentários são tão antigos quanto os primeiros dinossauros (CABREIRA *et al.*, 2022).

Ao contemplar apenas a literatura referente à paleontologia em cavernas nos últimos anos, pode-se discernir que a maioria dos fósseis descobertos pertencem a mamíferos (Gráfico 9). Essas informações apontam universalmente para fósseis da megafauna pleistocênica, extinta no Quaternário tardio. A megafauna brasileira, que existiu durante os tempos pré-históricos, era composta por 150 espécies diferentes de animais, incluindo os tigres dentes de sabre, os mamutes, as preguiças gigantes, as antas, os enormes tatus e uma variedade de outras criaturas (Corlett, 2013). Precisamente 45 descobertas abrangendo esse táxon compõem quase todo o material escavado nesta cientometria. Salienta-se que várias outras descobertas de fósseis, inclusive aquelas relacionadas a mamíferos, foram feitas; no entanto, como algumas dessas espécies não foram totalmente extintas e ainda habitam a Terra, elas não foram levadas em consideração durante a fase de tabulação dos dados.

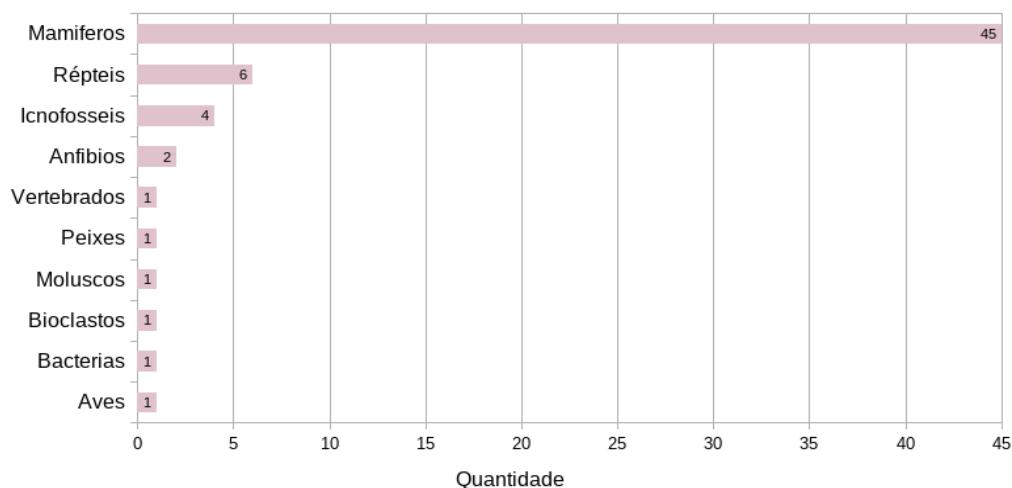


Gráfico 9 – Classificação taxonômica geral dos achados reportados nas cavidades naturais. Fonte: Autores.

No total, 133 ocorrências taxonômicas foram identificadas dentro das cavidades naturais e documentadas na literatura examinada; são as seguintes: *Ahytherium aff. aureum*, *Alligatoridae*, *Alouatta*, *Ameiva*, *Anuros*, *Artiodactyla*, *Bibimys labiosus*, *Bulimulidae*, *Calomys sp.*, *Camelidae*, *Carnivora*, *Catonyx cuvieri*, *Caviidae*, *Caviomorpha*, *Cerradomys sp.*, *Cervidae indet.*, *Cervidae*, *Cingulata*, *Coendou prehensilis*, *Cuniculidae*, *Cuniculus major*, *Cuniculus paca*, *Cuniculus rugiceps*, *Dasypodidae*, *Dasyproctidae*, *Dasypus novemcinctus*, *Didelphimorphia*, *Didelphis albiventris*, *Eira barbara*, *Equidae indet.*, *Equidae*, *Equus (Amerhippus) neogeus*, *Eremotherium laurillard*, *Eremotherium*, *Erethizontidae*, *Estromatolitos*, *Eunectes murinus*, *Felidae indet.*, *Felidae*, *G. agilis*, *G. microtarsus*, *G. reticulatus*, *Galea sp.*, *Glyptodon clavipes*, *Glyptodontidae*, *Glyptotherium sp.*, *Gomphotheriidae*, *Gracilinanus sp.*, *Helicinidae*, *Holmesina paulacoutoi*, *Holochilus sciureus*, *Hoplophorus sp.*, *Hydrochoerus*, *Kerodon rupestris*, *Lagomorpha*, *Lestodon armatus*, *M. americana*, *M. brevicaudata*, *M. domestica*, *Macrauchenidade*, *Mammalia*, *Marmosa demerarae*, *Marmosops incanus*, *Marsupiais*, *Megalobulimidae*, *Megalobulimus sp.*, *Megatheriidae*, *Metachirus nudicaudatus*, *Monodelphis sp.*, *Mylodontidae*, *Mylodontinae*, *Myocastor*, *Myotis sp.*, *Myrmecophagidae*, *Nasua nasua*, *Necromys lasiurus*, *Neichoerus sulcidentis*, *Nothrotherium maquinense*, *Notiomastodon platensis*, *Ocnopus gracilis*, *Palaeolama major*, *Pampatérios*, *Pampatheriidae*, *Panochthus greslebini*, *Panochthus sp.*, *Panthera onca*, *Pecari*, *Pequenos roedores*, *Perissodactyla*, *Preguiças-terrícolas*, *Proboscidea*, *Pseudoryzomys simplex*, *Ptychodus*, *R. schneideri*, *Rhinella jimi*, *Rodentia*, *Roedores cricetidae*, *Scelidotheriinae*, *Sigmodontíneos*, *Smilodon populator*, *Solaropsidae*, *Speothos sp.*, *Squamata*, *Stegomastodon waringi*, *Stegomastodon*, *Streptaxidae*, *Subulinidae*, *Sylvilagus cf. brasiliensis*, *Systropiidae*, *Tamandua tetradactyla*, *Tamandua*, *Tapiridae*, *Tapirus terrestris*, *Tapirus*, *Tardigrada*, *Tayassu pecari*, *Tayassu tajacu*, *Tayassuidae*, *Testudines*, *Testudinidae*, *Thrichomys sp.*, *Tolypeutes tricinctus*, *Toxodon sp.*, *Toxodon*, *Toxodontidae*, *Toxodontinae indet.*, *Toxodontinae*, *Tupinambis*, *Ursidae*, *Valgipes bucklandi*, *Wiedomys pyrrhorhinus*, *Wiedomys sp.* e *Xenarthra*.

3.11. Mapeamento Paleontológico Das Cavidades Naturais Brasileiras

Utilizando-se de geotecnologias e após realizar a análise dos dados, foi geoprocessado um mapa de âmbito nacional, no qual se encontram documentados os eventos paleontológicos que ocorreram em cavidades naturais no século XXI. É fundamental destacar que alguns trabalhos apresentaram coordenadas que não eram totalmente precisas ou não estavam de acordo com a localização *in loco* do estudo, levando à hipótese de que pode ter havido uma inserção errônea de dados cartográficos pelos autores. Nestes casos, para determinar a localização desses estudos, foram utilizadas as técnicas conforme destacado na metodologia, para contornar a situação, tornando possível a inserção dos pontos no mapa. A seguir é apresentado o mapa com os registros paleontológicos dos últimos anos no país, assim como as áreas de ocorrência de cavernas (Figura 3).

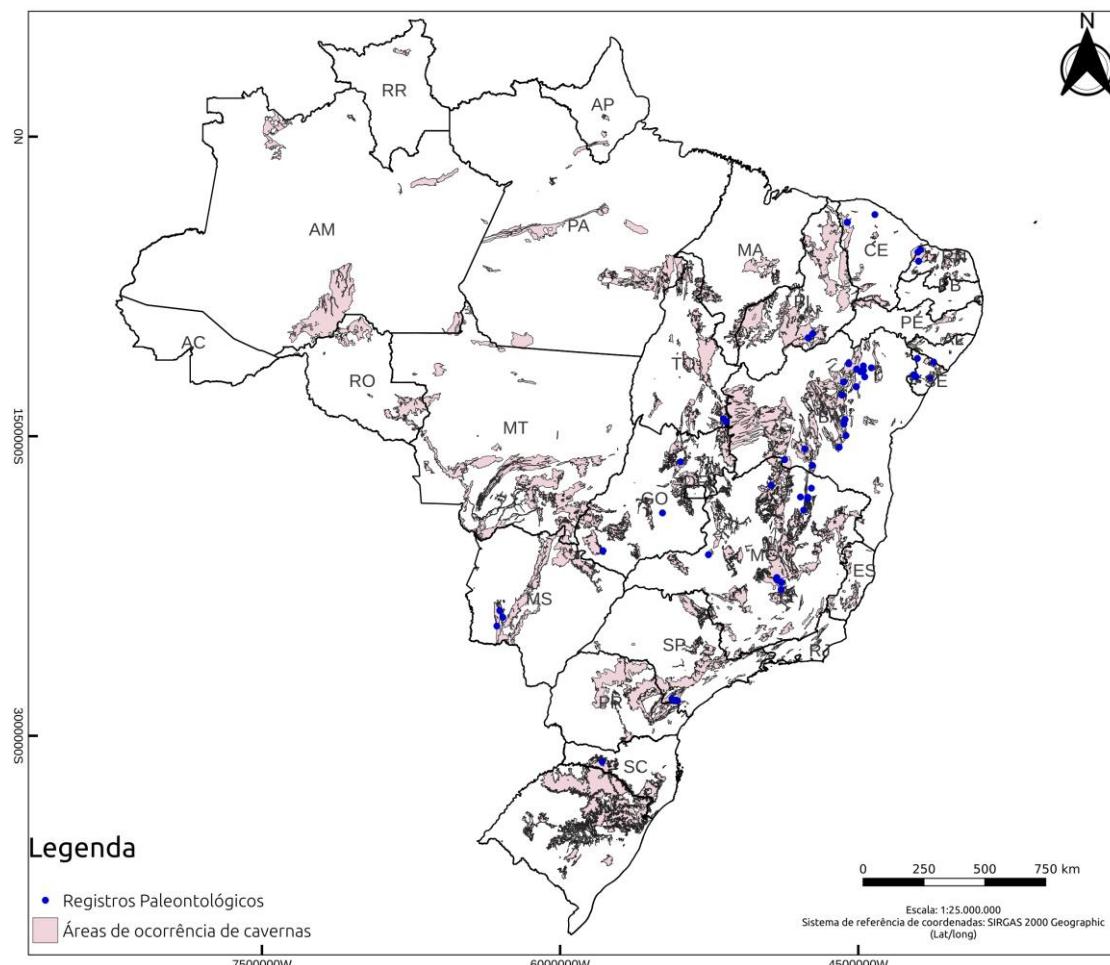


Figura 3 – Mapa de registros paleontológicos em áreas com ocorrência de cavernas. Dados das Áreas de Ocorrências de Cavernas no Brasil disponibilizados pelo ICMBio em 2023. Fonte: Autores.

Percebe-se que as Regiões Norte e Sul quase não apresentaram trabalhos sobre paleontologia em cavidades naturais. Essa carência de investigações pode ser atribuída ao fato de que essas regiões possuem baixo potencial para a ocorrência de cavernas, conforme evidenciado pelo mapa de potencialidade de ocorrência de cavernas no Brasil elaborado por Cavalcanti (2012). No entanto, embora esse mapa estime as áreas propícias à formação de cavernas com base na litologia local, os dados do ICMBio de áreas de ocorrência de cavernas revelam algumas discrepâncias em relação a ele. O estado do Rio Grande do Sul, por exemplo, classificado como região de baixa probabilidade de ocorrência de cavernas, apresenta, segundo os dados geoespaciais do ICMBio, um número considerável de cavidades naturais em seu território. Ainda sobre o estado gaúcho, o Rio Grande do Sul não exibiu nenhum exemplo documentado de achados paleontológicos em unidades espeleológicas durante o período de investigação, apesar de ser classicamente conhecido por seus fósseis do Triássico e por suas paleotocas escavadas por animais pré-históricos de grande porte.

Nota-se também uma lacuna entre alguns pontos com ocorrências paleontológicas em áreas onde sabe-se que existem cavernas, de acordo com os resultados deste trabalho, e as informações geoespaciais fornecidas pelo ICMBio. Essa observação leva à dedução de que esses pontos representam novos registros cavernícolas, os quais, até o momento, não foram atualizados no banco de dados da autarquia federal. As Regiões Norte dos estados da Bahia, Ceará, Minas Gerais, Sergipe e a região central do estado de Goiás são as que apresentam maior necessidade de uma abordagem mais detalhada no mapeamento de cavernas. As entradas com registro de regiões que possuem cavidades naturais não indicadas pelo ICMBio são classificadas

numericamente pelos IDs: 16, 19, 38, 67, 69, 83 e 88 no banco de dados. Esses registros estão associados a rochas como granitos, BIFs, calcários, arenitos e gnaisses. O banco de dados completo, desenvolvido neste trabalho, está à disposição da comunidade científica mediante solicitação.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O escopo deste trabalho foi realizar um estudo sistêmico das unidades cársticas brasileiras com presença documentada de registros paleontológicos e mapear tais pontos. Esta pesquisa foi formulada e iniciada devido à ausência de uma representação cartográfica coerente das localizações espeleológicas com os correspondentes paleo-registros que abrangesse toda a extensão do território nacional. Durante a fase de execução do trabalho, observou-se que um número considerável de publicações carecem de dados geológicos essenciais de campo; essa ausência de informações reflete-se principalmente na localização exata dos fósseis, na geologia da área, na unidade estratigráfica em questão e na datação. Tais informações são extremamente importantes para outros pesquisadores que utilizam a literatura para uma melhor compreensão do conteúdo. Como os temas paleontologia e espeleologia envolvem várias áreas do saber, é provável que alguns autores tenham escolhido dar enfoque a outras questões, deixando assim estas informações de lado. Nesta questão, sugere-se para futuros trabalhos, detalhes nas informações sobre a localização precisa e o contexto geológico da área de cada cavidade natural.

Adicionalmente, para uma cientometria mais abrangente, aconselha-se incluir mais fontes indexadoras de conteúdo, como SciELO, BD TD e o Portal de Periódicos da CAPES, para o refinamento do banco de dados a fim de ter uma melhor acurácia das entradas resultantes.

Em relação ao mapeamento dos registros paleontológicos e à geologia associada, o epicentro das ocorrências brasileiras do século XXI concentra-se nas rochas carbonáticas. Além disso, os resultados correlativos desta cientometria demonstram um fato intrigante: a presença de um número considerável de cavernas em rochas magmáticas, como os basaltos e os granitoídes da Bacia do Paraná, no Rio Grande do Sul. Essa constatação contradiz a expectativa de baixa probabilidade de formação de cavernas nesse tipo de litologia e sugere a influência de outros fatores geológicos, mesmo que pontuais, para a ocorrência de cavernas, o que levanta a hipótese de que existe um patrimônio espeleológico subestimado em rochas ígneas e similares, revelando uma possibilidade de maior potencial de cavernas nestes litotipos do que o inicialmente postulado por Jansen, Cavalcanti e Lamblém (2012). Essa hipótese, no entanto, necessita de estudos mais aprofundados em campo para ser confirmada.

Ainda sobre o mapeamento, as Regiões Norte e os estados do Maranhão, Paraíba, Alagoas, Pernambuco, Mato Grosso, Espírito Santo, Rio de Janeiro, Paraná e Rio Grande do Sul não retornaram nenhuma pesquisa relacionada ao tema de paleontologia em cavernas. Isso pode sugerir que tais regiões podem apresentar capacidade promissora para estudos, dependendo de sua potencialidade litológica para o surgimento de cavidades naturais e de fatores para preservação de fósseis, podendo possuir evidências significativas para a espeleopaleontologia.

Os dados geoespaciais gerados neste trabalho podem ser valiosos para a revisão e atualização de bancos de dados espaciais existentes sobre unidades espeleológicas. Os autores estão à disposição para disponibilizar todos os dados gerados nesta investigação. Ressalta-se também sobre a necessidade de órgãos públicos investirem na criação de uma plataforma online unificada para o arquivamento e compartilhamento de dados de pesquisas científicas como esta. Uma plataforma desse tipo evitaria a perda de dados valiosos gerados por diversos pesquisadores e garantiria sua disponibilidade para toda a comunidade científica e a sociedade em geral.

Por fim, espera-se que os resultados desta pesquisa científica contribuam para o avanço dos estudos em espeleologia e paleontologia no Brasil, servindo como base para futuras investigações.

REFERÊNCIAS

AUFDERHEIDE, A. C. **The Scientific Study of Mummies**. Cambridge, Cambridge University Press. 2003. 193p.

AULER, A.S., SMART, P.L. Toca da Boa Vista (Campo Formoso), Ba – A Maior Caverna do Hemisfério Sul. In: SCHOBBENHAUS, C., CAMPOS, D.A., QUEIROZ, E.T., WINGE, M., BERBERT-BORN, M. (Eds.). **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. 1^a Ed. Brasília: DNPM/CPRM – Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2002. v. 1, p. 443-452.

AULER, Augusto S.; PILÓ, L. B. **Geologia de cavernas e sua interpretação à luz da legislação ambiental espeleológica. Espeleologia e licenciamento ambiental**. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade–ICMBio. Brasília/DF, p. 39-75, 2019.

BENTON, M. J., & HARPER, D. A. Taphonomy and the quality of the fossil record. In: Benton, M. J. & Harper, D. A. **Introduction to Paleobiology and the Fossil Record**, Wiley-Blackwell, 57-78. 2009. 592p.

BERGQVIST L.P., ALMEIDA E.B. Inventário de ocorrências de mamíferos fósseis no Brasil In: **Congresso Brasileiro de Paleontologia**, 18, Brasília. Boletim de resumos. 2003. p. 64-65.

BERGQVIST, Lilian Paglarelli; ALMEIDA, EB de. Biodiversidade de mamíferos fósseis brasileiros. **Geociências**, v. 9, n. 6, p. 54-68, 2004.

CABREIRA, Sergio F. et al. Diphyodont tooth replacement of *Brasilodon*—A Late Triassic eucynodont that challenges the time of origin of mammals. **Journal of Anatomy**, v. 241, n. 6, p. 1424-1440, 2022.

CASSAB, R,C,T. Objetivos e Princípios. In: CARVALHO, I.S. **Paleontologia**. São Paulo: Interciênciia, 2004. p. 1-12.

CORLETT, Richard T. The shifted baseline: Prehistoric defaunation in the tropics and its consequences for biodiversity conservation. **Biological Conservation**, v. 163, p. 13-21, 2013.

CRUZ, Jocy Brandão; PILÓ, Luís B. **Espeleologia e licenciamento ambiental**. Brasília: ICMBio, 2019. 262 p.

DE JESUS, Tarsila Carvalho et al. Cavernas Em Rochas Carbonáticas No Estado Da Bahia: Forças, Fraquezas, Oportunidades E Ameaças: Caves In Carbonate Rocks In The State Of Bahia: Strengths, Weaknesses, Opportunities And Threats. **Revista Brasileira de Espeleologia-RBEsp**, v. 1, n. 12, p. 19-52, 2023.

FERNANDES, Ingrid. **Processos de preservação de fósseis de vertebrados quaternários coletados em cavernas carbonáticas de Minas Gerais e Bahia**. 2020. 132 f. Monografia (Graduação em Engenharia Geológica) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2020.

FERNANDES, Ingrid. **Processos fossildiagenéticos de restos de mamíferos quaternários coletados em cavernas carbonáticas de Minas Gerais e Bahia.** 2023. 76 f. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2023.

HASUI, Yociteru et al. (Ed.). **Geologia do Brasil.** São Paulo: Beca, 2012. 900 p.

HILL, C. A.; FORTI, Paolo. **Cave minerals of the world.** National Speleological Society. Huntsville, Alabama, p. 163-176, 1997.

HOFMANN, Rafael Dillenburg. **Aspectos geológicos relevantes na alteração/conservação da natureza e seus respectivos respaldos legais.** 2016. 37 f. Monografia (Especialização) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2016.

JANSEN, Débora Campos; CAVALCANTI, Lindalva Ferreira; LAMBLÉM, Hortência Sousa. Mapa de potencialidade de ocorrência de cavernas no Brasil, na escala 1: 2.500. 000. **Revista Brasileira de Espeleologia**, v. 2, n. 1, p. 42-57, 2012.

KHABSA, Madian; GILES, C. Lee. The number of scholarly documents on the public web. **PLoS one**, v. 9, n. 5, p. e93949, 2014.

LINO C.F. **Cavernas: o fascinante Brasil subterrâneo.** Rios, São Paulo – SP, 2009. 288 p.

LUND, Peter Wilhelm. Cavernas existentes no calcário do interior do Brasil, contendo algumas delas ossadas fósseis. In: LUND, Peter Wilhelm. **Segunda memória sobre a fauna das cavernas.** Rio de Janeiro: Instituto Nacional do Livro, 1837. p. 93-106.

MEDEIROS, M. A. Fossildiagênese. In: **Paleontologia: Conceitos e Métodos**, 65-78. Rio de Janeiro, Interciêncie. 2010. 756 p.

MENDES, J. C. **Paleontologia Básica.** São Paulo, T. A. Queiroz Editora/EDUSP. 1988. 347 p.

MOCHIUTTI, N.F.B.; TOMAZZOLI, E.R. Cavernas em granito. Precisamos falar sobre elas. In: ZAMPAULO, R. A. (org.) **CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA**, 35, 2019. Bonito. Anais... Campinas: SBE, 2019. p.18-29. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais35cbe/35cbe_018-029.pdf>. Acesso em: 05 de maio de 2023.

MOHER D, LIBERATI A, TETZLAFF J, ALTMAN DG; PRISMA Group. **Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement.** PLoS Med. 2009.

MOORE, G. W. Speleothem: a new cave term. **National Speleological Society News**, v. 10, n. 6, p. 2, 1952.

MOORE, G.W.; Sullivan, N. **Speleology: caves and the cave environment.** 3.ed. Missouri: National Speleological Society, 1997. 176 p.

MURPHY, Michael A.; SALVADOR, Amos. International stratigraphic guide—an abridged version. **Episodes Journal of International Geoscience**, v. 22, n. 4, p. 255-271, 1999.

PETRI, Setembrino et al. Código brasileiro de nomenclatura estratigráfica. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 16, n. 4, p. 372-376, 1986.

PILÓ, L. B.; RUBBIOLI, E. Cavernas do Vale do Rio Peruaçu – Obra-prima do carste brasileiro. In: Schobbenhaus, C.; Campos, D. A.; Queiroz, E. T.; Winge, M.; Berbet-Born, M. L. C. (Ed.). **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. Brasília: DNPM-CPRM-SIGEP, 2002, 453-460.

PILÓ, Luís B. et al. **IV Curso de Espeleologia e Licenciamento Ambiental**. Brasília. Instituto Terra Brasilis. 2013. 207 p.

PROUS, André; FOGAÇA, Emilio; RIBEIRO, Loredana. Patrimônio arqueológico. **APA Carste de Lagoa Santa-Patrimônio Espeleológico, Histórico e Cultural**. Belo Horizonte, CPRM/IBAMA, 1998. 229p.

SHAW, T. Speleothems: Carbonate. **Encyclopedia of caves and karst science**, 476-1480. 1992.

SIMÕES, M. G., & HOLZ, M. Tafonomia: processos e ambientes de fossilização. In: Carvalho, I. S., **Paleontologia**, Rio de Janeiro, Interciência. 2004. 756 p.

SOUZA, T. R.; AULER, A. S. **O carste de Vazante-Paracatu-Unaí: revelando importâncias, recomendando refúgios**. Belo Horizonte: Carste Ciência e Meio Ambiente, 2018. 279p.

TRUEMAN, C. N. Rare earth element geochemistry and taphonomy of terrestrial vertebrate assemblages. **Palaios**, 14: 555-568. 1999.

VASCONCELOS, André Gomide; KRAEMER, Bruno Machado; MEYER, Karin Elise Bohns. Tafonomia em cavernas brasileiras: histórico e método de coleta de fósseis preservados em solo carbonatado. **Terra Didatica**, v. 14, n. 1, p. 49-68, 2018.

VASCONCELOS, André Gomide. **Mamíferos quaternários da cavidade ES-08, Município de Prudente de Moraes, Minas Gerais: análise tafonômica e taxonômica**. 178 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Belo Horizonte, 2014.

VERÍSSIMO, César Ulisses V. et al. Espeleoturismo e microclima da Gruta de Ubajara, CE. **Estudos Geológicos**, UFPE, Recife, v. 15, p. 244-253, 2005.

WINGE, M. et. al.. **Glossário Geológico Ilustrado**. 2021. Disponível em: