

Problemas na determinação da relevância de cavidades naturais subterrâneas desenvolvidas em diferentes litotipos a partir das feições geológicas: inconsistências na legislação¹

Problems in determining the relevance of underground natural cavities originated in different lithotypes from geological features: legislation inconsistencies

Problemas para determinar la relevancia de las cavidades subterráneas naturales en diferentes litotipos a partir de las características geológicas: inconsistencias en la legislación

Laís Luana Massuqueto

<https://orcid.org/0000-0001-6838-6673>

lais.massuqueto@gmail.com

Universidade Estadual de Ponta Grossa, UEPG, / Grupo Universitário de Pesquisas Espeleológicas (GUPE), Ponta Grossa, PR, Brasil

Henrique Simão Pontes

<https://orcid.org/0000-0003-3872-6408>

henriquegeografo@gmail.com

Universidade Estadual de Ponta Grossa, UEPG, / Grupo Universitário de Pesquisas Espeleológicas (GUPE), Ponta Grossa, PR, Brasil

Resumo: Este artigo estima a relevância de cavidades naturais subterrâneas desenvolvidas em contextos litológicos distintos (carbonático, siliciclástico, ferrífero e granítico) a partir do Decreto 6.640/2008 e Instrução Normativa do Ministério do Meio Ambiente nº2/2017, considerando apenas suas feições geológicas. O método foi aplicado em oito cavernas, duas para cada litotipo. Foi analisado se os critérios adotados para a avaliação do grau de relevância são eficientes quando apenas as feições geológicas são consideradas. Analisando apenas as geoformas, as oito cavidades estudadas foram classificadas como de baixa relevância, pois nenhuma atingiu o resultado minimamente significativo. No entanto, a partir de um inventário da geodiversidade foi possível averiguar que estas cavernas apresentam importantes elementos geológicos e não poderiam ser classificadas como de baixa relevância, quando da análise destes atributos isoladamente. Assim, há inconsistências na IN MMA nº2/2017 na avaliação dos aspectos da geodiversidade de cavernas, havendo necessidade de rever os grupos de atributos e parâmetros avaliativos na normativa,

¹ Pesquisa parcialmente fomentada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

objetivando métodos mais precisos, sobretudo os relacionados aos aspectos da geodiversidade subterrânea.

Palavras-chave: relevância espeleológica, avaliação da geodiversidade, legislação espeleológica.

Abstract: This paper estimates the relevance of caves developed in different lithological contexts (carbonate, siliciclastic, ferriferous, and granitic) as defined on Decree 6.640/2008 and Normative Instruction # 2/2017 of the Brazilian Ministry of Environment, which consider only geological features. The method was applied in eight caves, two for each lithotype. It was analyzed whether the criteria adopted for the evaluation of caves' relevance degree are efficient when just the geological features are considered. Analyzing just the geofoms the eight studied cavities were classified as of low relevance, as none reached the minimally significant parameter. However, based on geodiversity inventory we could ascertain that these caves do have important geological elements and could not be classified as of low relevance when analyzing these attributes in isolation. Therefore, there are inconsistencies in IN MMA # 2/2017 for the evaluation of aspects of cave geodiversity, so it is necessary to review the attributes and parameters of this normative aiming at more precise methods, especially those related to the aspects of underground geodiversity.

Keywords: speleological relevance, geodiversity assessment, speleological legislation.

Resumen: Este artículo estima la relevancia de las cavidades subterráneas naturales desarrolladas en diferentes contextos litológicos (carbonato, siliclastico, ferríferico y granítico) a partir del Decreto 6.640/2008 y la Instrucción Normativa del Ministerio del Medio Ambiente N° 2/2017, considerando únicamente las características geológicas. El método se aplicó en ocho cuevas, dos para cada litotipo. Se analizó si los criterios adoptados para la evaluación del grado de relevancia son eficientes cuando solo se consideran las características geológicas. Analizando solo las geofomas de las ocho cavidades estudiadas se clasificaron como de baja relevancia, ya que ninguna alcanzó el resultado mínimamente significativo. Sin embargo, a partir de un inventario de geodiversidad se pudo comprobar que estas cuevas presentan importantes elementos geológicos y no pudieron ser clasificadas como de baja relevancia, al analizar estos atributos por separado. Por lo tanto, existen inconsistencias en el IN MMA n°2/2017 que evalúa los aspectos de la geodiversidad de las cuevas, y existe la necesidad de revisar los grupos de atributos y parámetros que evalúan normativos, apuntando a métodos más precisos, especialmente aquellos relacionados con aspectos de la geodiversidad subterránea.

Palabras clave: relevancia espeleológica, evaluación de geodiversidad, legislación espeleológica.

INTRODUÇÃO

As cavidades naturais subterrâneas, conceito amplo que inclui as cavernas, grutas, lapas, tocas, abismos, furnas (dolinas) e demais nomenclaturas, são ambientes naturais que agregam alta diversidade de componentes, incluindo elementos biológicos, geológicos, hidrológicos, históricos, arqueológicos e paleontológicos. Levando em consideração esse rico conjunto natural, o inciso III do Art. 2º da Resolução Conama nº 347/2004, define que o patrimônio espeleológico é “o conjunto de elementos bióticos e abióticos, socioeconômicos e histórico-culturais, subterrâneos ou superficiais, representados pelas

cavidades naturais subterrâneas ou a estas associadas” (Conselho Nacional de Meio Ambiente [CONAMA], 2004).

O Decreto nº 99.556, de 1º de outubro de 1990, classifica as cavidades naturais subterrâneas como todo e qualquer espaço subterrâneo, que possa ser acessado por humanos, com abertura identificada ou não, incluindo o seu ambiente, conteúdo mineral e hídrico, a fauna e a flora associadas e o corpo rochoso onde os mesmos estão inseridos, independente de suas dimensões ou tipo de rocha encaixante, desde que tenham sido formados por processos naturais.

Por serem ambientes de relevante importância, considerados patrimônio natural e cultural, as cavernas são declaradas como bens da União pela Constituição Federal em seu Art. 20. Para Ganem (2009) é dever da União zelar pelos seus bens, a partir de medidas concretas para a sua conservação, ao mesmo tempo em que garanta condições para o desenvolvimento econômico das áreas onde as cavernas estão inseridas, buscando critérios de sustentabilidade ambiental.

Ferraz (2013) coloca que as cavidades têm natureza jurídica de recursos ambientais do subsolo, tratadas como microbens, de uso comum do povo, cuja utilização é disciplinada em regulamento próprio, de acordo com o grau de relevância. O autor também apresenta que além das cavidades, o patrimônio espeleológico compreende os elementos a elas associados, tais como os físicos, bióticos e culturais, os quais possuem natureza jurídica distinta. Dessa forma, sua titularidade e seu tratamento serão considerados de acordo com a função que esse elemento representa (Ferraz, 2013).

O Decreto 6.640/2008, que modificou significativamente o Decreto 99.556/1990 (o principal dispositivo da legislação espeleológica brasileira), normatizou o uso, supressão e conservação de cavidades naturais subterrâneas a partir da definição do grau da relevância espeleológica. Esta avaliação para determinar a importância de uma caverna ocorre com base na Instrução Normativa MMA nº 2/2017, que estabelece métodos para determinar a relevância destes ambientes em máxima, alta, média ou baixa. Para definir o grau de relevância, deve ser realizada uma análise em dois enfoques: o local (delimitado pela unidade geomorfológica que apresente continuidade espacial) e o regional (delimitado pela unidade espeleológica, uma área de homogeneidade fisiográfica), considerando os atributos, grupos de atributos, pesos e contribuição.

Dentre os diversos atributos a serem considerados para o grau de relevância espeleológica, estão as feições geológicas, que integram os aspectos da geodiversidade de cavidades naturais subterrâneas. Tais atributos são: espeleotemas únicos e morfologia única (especificamente as feições morfológicas internas raras, que conferem grau máximo de relevância), estruturas geológicas de interesse científico, diversidade de depósitos químicos, configuração dos espeleotemas, sedimentação clástica ou química e registros paleontológicos.

O Brasil possui atualmente 22.666 cavernas, sendo que desse total, 68,5% das cavidades se desenvolvem em rochas carbonáticas; 19,5% em ferríferas; 9,9% em siliciclásticas; e 1% em rochas graníticas, desta maneira, 98,9% das cavernas brasileiras são desenvolvidas nesses quatro litotipos (Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas [CANIE], 2022). Assim, como os ambientes subterrâneos são diversificados em seus atributos, as rochas

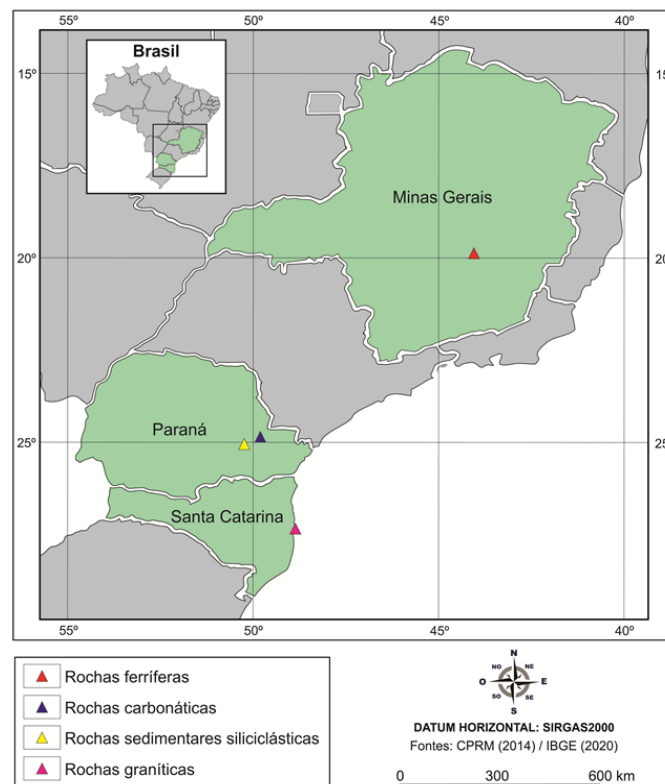
capazes de hospedar cavidades subterrâneas também são. E, conseqüentemente, a diversidade de rochas formadoras de cavernas proporciona variedade de feições geológicas, que podem ser mais comuns ou mais raras, maiores ou menores, podendo envolver processos genéticos distintos, dependendo do litotipo associado.

Visto isso, o objetivo desse artigo é aplicar e avaliar o método de identificação da relevância espeleológica, com foco exclusivo nas feições geológicas, a partir dos critérios de quantificação considerados na IN MMA nº 2/2017. Essa avaliação permitirá definir se os critérios adotados para a classificação do grau de relevância, a partir da valoração proposta no Anexo II da IN MMA nº 2/2017, são eficientes quando levados em consideração apenas as feições geológicas de cavernas em diferentes contextos litológicos.

ÁREA DE ESTUDO

Cerca de 98,9% das cavernas brasileiras se desenvolvem em quatro litotipos - carbonáticos, sedimentares siliciclásticos, ferríferos e graníticos. Neste sentido, para a aplicação do método proposto pela lei em vigor, foram escolhidas oito cavidades, desenvolvidas nestes tipos de relevo, situadas nos estados de Santa Catarina, Paraná e Minas Gerais (Fig. 1). Essa escolha reflete a geodiversidade dos ambientes subterrâneos, por conter feições espeleogenéticas diversas, constituindo relevante amostragem de parte do contexto espeleológico nacional.

Figura 1: mapa de localização das cavidades naturais subterrâneas.



ASPECTOS GEOLÓGICOS

Para representar as cavernas carbonáticas, foram escolhidas duas cavidades da Província Espeleológica do Vale do Ribeira, ambas no município de Castro, Paraná. A gruta Olhos d'Água localiza-se no distrito de Abapã, e a gruta de Pinheiro Seco, situa-se no distrito de Socavão, próximo à divisa municipal com Doutor Ulysses e Cerro Azul.

Estas cavidades se desenvolvem em rocha carbonática metamórfica pertencente à Formação Bairro dos Campos, do Grupo Itaiacoca, com idade de aproximadamente 1030-908 Ma (Mesoproterozoico e início do Neoproterozoico) (Szabó et al., 2006). É constituída predominantemente por mármore dolomíticos com intercalações de metamargas, como filitos carbonáticos e calcifilitos (Caltabeloti, 2011). Esta formação é definida por Souza (1990) e Szabó et al. (2004) como uma sequência metadolomítica de plataforma carbonática.

A idade de preenchimento da antiga bacia de sedimentação (marinha), acompanhada de vulcanismo, tal como sugerido por determinações U-Pb em zircões (Siga Jr. et al., 2003) é Neoproterozoica (aproximadamente 635-630 Ma). O metamorfismo regional, contemporâneo à fase principal de deformação destas rochas, ocorreu entre 628 e 590 Ma (Siga Jr. et al., 2003).

Para representar as cavernas sedimentares siliciclásticas, foram selecionadas duas cavernas no município de Ponta Grossa, Paraná. As cavernas das Andorinhas e da Chaminé desenvolvem-se em arenitos da Formação Furnas, unidade que aflora na borda leste da Bacia do Paraná, com idade de 395-421 Ma, entre o Siluriano e o Devoniano (Borghini, 1993; Assine, 1999). Segundo Assine (1996) e Melo e Giannini (2007) esta formação é predominantemente composta por arenitos quartzosos de granulação variada, cimentados principalmente por caulinita e illita, apresentando também camadas siltico-argilosas esparsas de espessura geralmente decimétrica. Os arenitos estão dispostos em estratos de espessura de 0,5 a 5 metros, com formas tabular, lenticular e cuneiforme, exibindo marcante estratificação cruzada planar, tangencial na base ou acanalada (Assine, 1996).

Em relação às cavernas em rochas ferríferas foram escolhidas a gruta da Piedade e a caverna do Triângulo, ambas localizadas na Serra da Piedade, município de Caeté, Minas Gerais. Para Calux (2013) estas cavernas se desenvolvem no contexto de contato entre canga detrítica composta por clastos de itabirito e hematita compacta e itabiritos, pertencentes à Formação Cauê, Grupo Itabira. A idade remete ao Paleoproterozoico, de aproximadamente 2300 Ma (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais [CPRM], 2014).

Por fim, como cavidades amostrais de rochas graníticas foram escolhidas o Sistema de Cavernas da Água Corrente e a gruta do Saco Grande, situadas em Florianópolis, Santa Catarina. Estas cavidades se desenvolvem no Granito Ilha, Suíte Pedras Grandes, com idade de aproximadamente 524±68Ma (Neoproterozoico) (CPRM, 2014). A rocha possui cor rosada ou cinza-clara, textura equigranular grossa ou média, raramente pórfira, e é constituída por quartzo, feldspato potássico, biotita e anfibólio, como minerais essenciais.

MÉTODOS

Sendo a geodiversidade um entre os vários atributos a serem avaliados para determinar o grau de relevância espeleológica, esta pesquisa visa aplicar e avaliar este método de identificação, conforme o Decreto 6.640/2008 e sua IN MMA nº 2/2017, a partir das feições geológicas. Assim, a quantificação foi realizada seguindo os parâmetros previstos na lei. Para isso, foi realizado um levantamento bibliográfico sobre os temas 'legislação espeleológica brasileira', 'patrimônio espeleológico', 'geodiversidade', 'inventário e quantificação do patrimônio geológico'. Trabalhos de campo foram realizados nas oito cavernas, com a finalidade de caracterizar as cavidades naturais subterrâneas, identificar e inventariar as feições geológicas que ocorrem nos quatro litotipos e comparar os aspectos físicos de cada ambiente.

Após caracterização e inventário foi realizada a análise dos anexos I, II, III e IV da IN MMA nº 2/2017 para a aplicação do método de identificação da relevância, com foco restrito sobre as feições geológicas dos quatro contextos litológicos escolhidos, a fim de identificar as alíneas que abordam especificamente estas geoformas (Quadro 1).

Quadro 1: atributos e respectivos conceitos a serem considerados para fim de classificação do grau de relevância máximo, com base nas feições geológicas.

Atributo	Conceito	Variável
Gênese única ou rara	Cavidade que, no universo de seu entorno (escala local ou regional) e litologia apresente algum diferencial, com relação ao seu processo de formação e dinâmica evolutiva.	Presença ()
		Ausência ()
Morfologia única	Cavidade que, no universo de seu entorno (escala local ou regional) e sua litologia apresente algum diferencial em relação à forma, organização espacial das galerias e/ou feições morfológicas internas (espeleogens), considerando o todo ou parte da cavidade.	Presença ()
		Ausência ()
Espeleotemas únicos	Cavidade que apresente espeleotemas, individualmente ou em conjunto, pouco comuns ou excepcionais, em tamanho, mineralogia, tipologia, beleza ou profusão, especialmente se considerados frente à litologia dominante da cavidade ou sob os enfoques territoriais considerados (local ou regional).	Presença ()
		Ausência ()

Fonte: adaptado de MMA (2017).

Já os atributos da geodiversidade (estruturas geológicas de interesse científico, diversidade de depósitos químicos, configuração dos espeleotemas, sedimentação clástica ou química e registros paleontológicos) considerados para obter o grau de relevância (alta, média e baixa), são quantificados a partir da proposta presente no Anexo II da IN MMA Nº 2/2017 (Tab. 1). A quantificação seguiu os parâmetros de avaliação, peso e contribuição, realizando cálculos específicos para estimar o grau de relevância.

Ressalta-se que para a análise dos atributos a serem considerados na classificação do grau de relevância sob enfoque local, em relação ao de interesse científico, foi retirado o atributo 'localidade tipo', presente na tabela original da instrução normativa, uma vez

que representa “uma caverna citada como local geográfico de onde foram coletados os exemplares tipo utilizados na descrição de determinada espécie ou táxon superior”. Ou seja, esse é um atributo de ordem biológica, o qual não foi considerado nessa pesquisa.

Tabela 1: atributos da geodiversidade a serem considerados na classificação do grau de relevância sob o enfoque local.

Atributos relacionados à sedimentação química e clástica	Parâmetros para avaliação	Peso	Contribuição (%)	Resultado parcial (peso x contribuição)	Resultado final (Σ dos resultados parciais)	Resultado minimamente significativo para ser considerado na classificação do grau de relevância
Diversidade de depósitos químicos	Muitos tipos de espeleotemas e processos de deposição	3	35	0		90
	Muitos tipos de espeleotemas ou processos de deposição	2				
	Poucos tipos ou processos	1				
	Ausência de tipos e processos	0				
Configuração dos espeleotemas	Notável	3	35	0		
	Pouco significativo	0				
Sedimentação clástica ou química com valor científico	Presença de valor científico	3	30	0		
	Presença sem valor científico ou ausência	0				
Presença de registros paleontológicos	Presença	3	30	0		90
	Ausência	0				
Presença de estruturas geológicas de interesse científico	Presença	3	30	0		
	Ausência	0				

Fonte: adaptado de MMA (2017).

RESULTADOS

Caracterização das cavidades naturais subterrâneas

GRUTA OLHOS D'ÁGUA (CASTRO/PR)

A gruta Olhos d'Água está inserida no primeiro Planalto Paranaense, em um relevo composto por morros e vales bem encaixados, drenagem subterrânea, depressões no terreno (dolinas), pequenos abrigos e presença de cavernas, feições típicas de relevo cárstico (Pontes & Bagatim, 2012).

Formada em metadolomitos, a cavidade possui 500 metros de desenvolvimento linear e 12 metros de desnível (Fig. 2a). Apresenta curso hídrico perene, variando em sua forma entre amplos salões e galerias com tetos baixos e quebra-corpos. Pontes e Bagatim (2012) afirmam que é possível observar o controle estrutural das galerias, encaixadas principalmente em estruturas de direções N10-30E, N50-60E e N60-80W. Citam também que entre os ornamentos encontrados na caverna se destacam os espeleotemas (estalactites, estalagmites, colunas, cortinas, cascata de rocha, represas de travertino, formações de ninhos de pérolas, canudos, pipocas e corais de calcita, helictites e pequenas formações de flores de calcita e aragonita). Também estão presentes espeleogens, cúpulas e dutos de dissolução, chaminés de equilíbrio, rocha fantomizada, panelas (marmitas) e canais de teto. Outras feições da geodiversidade presentes nesta cavidade são os depósitos clásticos, paleoníveis e veios de quartzo resultados da circulação de fluidos hidrotermais durante os processos metamórficos em que a rocha foi submetida.

GRUTA DE PINHEIRO SECO (CASTRO/PR)

A gruta de Pinheiro Seco situa-se em um relevo metadolomítico com marcantes processos de carstificação que permitem classificar a área como um notável sistema cárstico, com presença de cavernas, dolinas, drenagens subterrâneas e cânions.

A cavidade possui 650 metros de desenvolvimento linear, sem presença de drenagem subterrânea e com três entradas distintas (Fig. 2b). É subdividida em duas galerias, sendo a principal, com cerca de 250 metros de desenvolvimento linear, pouco ornamentada e bastante degradada e a galeria secundária, com 400 metros, apresentando feições mais preservadas, como helictites, canudos, pérolas e flores de calcita (Massuqueto, 2013).

Feições da geodiversidade são encontradas em toda a extensão da caverna, tendo destaque os diversos tipos de espeleotemas, depósitos clásticos, paleoníveis e espeleogens, tais como cúpulas de dissolução, *scallops*, pilares, pendentes, dutos de dissolução, entre outras.

CAVERNA DAS ANDORINHAS (PONTA GROSSA/PR)

A caverna das Andorinhas está localizada na região cárstica dos Campos Gerais do Paraná (Pontes, 2019). É formada em arenitos quartzosos da Formação Furnas, se desenvolvendo na Unidade Média da formação, porém nas porções mais profundas exhibe conglomerados da Unidade Inferior.

Tem extensão total de 140 metros e desnível de 65 metros. Sua gênese gera discussões, pois a caverna assemelha-se a uma fuma (feição semelhante à dolinas de abatimento) inclinada, com perfil da galeria em forma de arco, estando condicionada por uma falha inclinada de direção NW-SE. A caverna possui dois cursos hídricos perenes formados por nascentes situadas em seu entorno imediato. Na sua porção mais profunda há um pequeno lago correspondente ao nível freático exposto, sendo considerado um local de recarga do Aquífero Furnas (Fig. 2c).

Em relação aos elementos da geodiversidade, a caverna das Andorinhas possui diversas feições relevantes para a compreensão de processos de carste em rochas siliciclásticas, tais como pontos com presença de fantomização/arenização da rocha, dutos de dissolução, cúpulas de dissolução, painéis, depósitos clásticos, anastomoses, além de incrustações de óxido de ferro e brechas de falha associadas ao marcante processo de falhamento observado no local. Possui expressivo conjunto de espeleotemas de dimensões centimétricas, compostos por opala amorfa, caulinita e óxidos de ferro (Pontes, 2019; Pontes et al., 2020). Os espeleotemas são feições da geodiversidade de destaque na Formação Furnas, uma vez que podem ajudar a compreender os mecanismos que atuam na gênese e evolução dos ambientes subterrâneos (Massuqueto, Fernandes & Pontes, 2017).

CAVERNA DA CHAMINÉ (PONTA GROSSA/PR)

A Caverna da Chaminé também se desenvolve nos arenitos da Formação Furnas, próximo da transição entre a Unidade Inferior e a Unidade Média. De acordo com Pontes e Melo (2011) essa transição é observada no interior da caverna pela presença de níveis de arenito conglomerático, característicos da Unidade Inferior e níveis silto-argilosos e icnofósseis, típicos da Unidade Média. A cavidade situa-se na margem direita do cânion do rio São Jorge, classificado como um Sítio Geológico e Paleontológico do Brasil (SIGEP) conforme Massuqueto, Melo, Guimarães e Lopes (2009).

A caverna possui 307 metros de desenvolvimento linear e 35 metros de desnível, com trechos predominantemente horizontais, semi-verticais e verticais (Fig. 2d). Há dois pequenos filetes de água em apenas um dos compartimentos da caverna, formados pela infiltração de águas superficiais, e mesmo sem curso hídrico em seu interior, a cavidade apresenta alta umidade. Trata-se de uma caverna com feições geológicas bem preservadas, tais como estruturas sedimentares, sendo um bom local para observar a ocorrência de significativo processo de dissolução do arenito (Pontes & Melo, 2011).

Há um número marcante de espeleotemas ao longo de toda a cavidade, sendo um dos primeiros locais a serem descritos esse tipo de feição na região dos Campos Gerais. Outras feições da geodiversidade também encontradas no local são as painéis (marmitas) formadas a partir de processo de gotejamento, rocha fantomizada/arenizada, anastomose, dutos de dissolução e incrustação (Grupo Universitário de Pesquisas Espeleológicas [GUPE], 2017).

GRUTA DA PIEDADE (CAETÉ/MG)

Localizada na Serra da Piedade, a gruta de nome homônimo apresenta projeção horizontal de 365 metros e desnível de 39 metros (Fig. 2e). Avaliando o litotipo ao qual está inserida (rochas ferríferas) é uma caverna de grandes dimensões, considerada como a segunda maior caverna do Brasil em minério de Ferro. Calux (2013) salienta que a gruta se desenvolveu em alta vertente, na porção norte da Serra da Piedade, em rampa formada por depósito de tálus com blocos de grandes proporções basculados e parcialmente recobertos por couraça ferruginosa.

Em relação às feições hidrológicas, há um canal de drenagem intermitente e processos de infiltração, percolação e gotejamento, especialmente em períodos de elevado índice pluviométrico. Os aspectos de interesse geológico são marcados pela presença de espeleotemas variados, alvéolos, dutos, incrustação e depósitos clásticos (Calux, 2013). Além disso, os pontões estruturais, patamares e estruturas geológicas (a exemplo das dobras) também são registrados na caverna, sendo que Pereira (2012) também destaca a existência de pendentes, cúpulas e panelas.

CAVERNA DO TRIÂNGULO (CAETÉ/MG)

Também situada na porção norte da Serra da Piedade, a caverna do Triângulo possui projeção horizontal de 103 metros e desnível de 10 metros (Fig. 2f). A cavidade se desenvolveu em uma quebra no relevo, uma ruptura escarpada de 1,5 a 3 metros de altura em forma de anfiteatro, relacionada à cobertura de canga irregular e contínua (Calux, 2013). O referido autor acrescenta que esta cavidade apresenta inúmeras fraturas atectônicas, descontínuas e irregulares.

Em relação à presença de água, há canais intermitentes, responsáveis pela erosão da crosta ferruginosa que recobre sedimentos do piso da caverna e gotejamentos do teto, formados em períodos de chuvas.

Cúpulas de dissolução, sulcos verticais, canalículos, pilares, pendentes e espeleotemas estão entre algumas das feições encontradas nessa cavidade subterrânea (Calux, 2013). Pereira (2012) destaca a presença de uma feição geológica específica nesta caverna, denominada de paleopiso. Estas feições indicam antigos níveis do piso da caverna que foram erodidos com o tempo, podem se tratar também de antigos leitos de rios, recebendo a denominação específica de paleoleitos. Contudo, é mais indicado o uso do conceito amplo paleonível para referenciar estas duas situações.

SISTEMA DE CAVERNAS DA ÁGUA CORRENTE (FLORIANÓPOLIS/SC)

Situada na localidade de Saco Grande, o Sistema de Cavernas da Água Corrente é um complexo de condutos labirínticos e com sobreposição de níveis, formados a partir de blocos de granito (Mochiutti & Tomazzoli, 2017; Mochiutti, 2020). Essa cavidade se destaca por suas dimensões, com projeção horizontal de 1.026 metros e 26 metros de desnível, sendo a segunda maior caverna do país neste litotipo (Fig. 2g). Destaca-se que o trabalho de mapeamento dessa cavidade ainda está em fase de execução, podendo aumentar consideravelmente sua extensão total.

Mochiutti e Tomazzoli (2017) colocam que a organização dos blocos graníticos permite que haja diversas entradas na caverna. Porém, em níveis mais profundos ocorrem zonas totalmente afóticas. A forma da caverna é caracterizada como uma complexa rede de galerias, formada entre matacões de tamanho métrico a decamétrico, exibindo trechos labirínticos e com várias passagens em diferentes níveis sobrepostos. A cavidade é drenada pelo córrego da Água Corrente e apresenta passagens com tetos baixos e quebra-corpos, como também salões amplos e desníveis pontuais que ultrapassam 10 metros.

Entre as feições da geodiversidade desta cavidade estão os espeleotemas milimétricos a centimétricos, depósitos clásticos, caneluras de formação superficial em tetos e paredes da caverna, alvéolos (*tafoni*) e estruturas geológicas (contato geológico Granito Ilha/dique de aplito, bolsão pegmatítico, enclaves e juntas/fraturas).

GRUTA DO SACO GRANDE (FLORIANÓPOLIS/SC)

Esta cavidade situa-se a poucos metros do Sistema de Cavernas da Água Corrente, e possui 530 metros de projeção horizontal, segundo dados do Cadastro Nacional de Cavernas – CNC, da Sociedade Brasileira de Espeleologia – SBE (Fig. 2h).

A gruta do Saco Grande tem sua espeleogênese como típica caverna formada entre blocos e matacões rolados, com trechos desenvolvidos em rocha *in situ*. Uma antiga estrada separa esta gruta do Sistema de Cavernas da Água Corrente, considerando que no passado estas cavernas eram conectadas, formando um grande sistema subterrâneo.

No interior da cavidade nota-se a presença de pequeno curso hídrico, que ocupa porções superiores da caverna em períodos de alto índice pluviométrico. Entre as feições geológicas de destaque estão os espeleotemas, principalmente do tipo corais e estalactíticos, depósitos clásticos e estruturas geológicas como fraturas, intemperismo por deslocamento, enclaves e contato geológico entre o Granito Ilha/dique de aplito.

Aplicação do método de quantificação em cavernas desenvolvidas em diferentes litotipos

Dentre os atributos das feições geológicas avaliados, os únicos que concedem o grau de relevância máximo são a presença de espeleotemas únicos e feições morfológicas internas raras (item presente dentro do atributo morfologia única). Os espeleotemas devem ser considerados em casos onde, individualmente ou em conjunto, sejam pouco comuns ou excepcionais, em tamanho, composição mineral, tipologia, beleza ou profusão, especialmente se considerados frente ao litotipo dominante da cavidade ou sob os enfoques territoriais considerados. As feições morfológicas internas raras incluem os espeleogens, considerando o todo ou parte da cavidade, ou seja, formas erosivas singulares. É importante destacar que, gênese única ou rara é um atributo que pode ser incluído na situação acima mencionada, pois certas feições geológicas indicam determinados processos genéticos, porém o que está em análise é a raridade da espeleogênese e não a feição da geodiversidade propriamente dita.

Figura 2: a) Gruta Olhos d'Água (Castro/PR); b) Gruta de Pinheiro Seco (Castro/PR); c) Caverna das Andorinhas (Ponta Grossa/PR); d) Caverna da Chaminé (Ponta Grossa/PR); e) Gruta da Piedade (Caeté/MG); f) Caverna do Triângulo (Caeté/MG); g) Sistema de Cavernas da Água Corrente (Florianópolis/SC) e; h) Gruta do Saco Grande (Florianópolis/SC).



Fotos: acervo dos autores.

O Art. 4º da IN MMA nº 2/2017 define que para a determinação da relevância devem-se considerar os atributos, grupos de atributos, peso e contribuição do elemento avaliado, segundo os enfoques local e regional, destacando ainda, em seus parágrafos primeiro e segundo:

§ 1º O resultado final para cada grupo de atributos será obtido pela somatória do resultado parcial de cada atributo avaliado, que por sua vez será resultado da multiplicação dos valores do peso e da contribuição de cada atributo.

§ 2º Somente os resultados finais que sejam iguais ou superiores a 30% do valor potencial máximo para cada grupo de atributos serão considerados minimamente significativos para fins de avaliação do grau de relevância da cavidade natural subterrânea (Brasil, 2008 p.2).

Nesse sentido, a Tabela 2 apresenta a quantificação das feições geológicas de cada uma das cavidades, conforme os métodos propostos na Instrução Normativa MMA nº2/2017. O resultado referente à diversidade de depósitos químicos é representado pela cor azul escuro; configuração dos espeleotemas está destacada na cor azul; sedimentação clástica ou química com valor científico aparece na cor azul claro; verde escuro representa a presença de registros paleontológicos e verde claro retrata a presença de estruturas geológicas de interesse científico.

Tabela 2: quantificação dos atributos de feições geológicas das cavidades analisadas.

	Peso	Contribuição (%)	Resultado parcial (peso x contribuição)	Resultado final (Σ dos resultados parciais)
Gruta Olhos d'Água	Atributos relacionados à sedimentação química e clástica			
	2	35	70	160
	0	35	0	
	3	30	90	
	Atributos relacionados a interesse científico			
	0	30	0	90
	3	30	90	
Gruta de Pinheiro Seco	Atributos relacionados à sedimentação química e clástica			
	2	35	70	160
	0	35	0	
	3	30	90	
	Atributos relacionados a interesse científico			
	0	30	0	90
	3	30	90	
Caverna das Andorinhas	Atributos relacionados à sedimentação química e clástica			
	1	35	35	140
	3	35	105	
	0	30	0	
	Atributos relacionados a interesse científico			
	3	30	90	180
	3	30	90	

continua

conclusão

	Peso	Contribuição (%)	Resultado parcial (peso x contribuição)	Resultado final (Σ dos resultados parciais)
Caverna da Chaminé	Atributos relacionados à sedimentação química e clástica			
	1	35	35	140
	3	35	105	
	0	30	0	
	Atributos relacionados a interesse científico			
	3	30	90	90
0	30	0		
Gruta da Piedade	Atributos relacionados à sedimentação química e clástica			
	1	35	35	230
	3	35	105	
	3	30	90	
	Atributos relacionados a interesse científico			
	0	30	0	90
3	30	90		
Caverna do Triângulo	Atributos relacionados à sedimentação química e clástica			
	1	35	35	35
	0	35	0	
	0	30	0	
	Atributos relacionados a interesse científico			
	0	30	0	90
3	30	90		
Sistema de Cavernas da Água Corrente	Atributos relacionados à sedimentação química e clástica			
	1	35	35	230
	3	35	105	
	3	30	90	
	Atributos relacionados a interesse científico			
	0	30	0	90
3	30	90		
Gruta do Saco Grande	Atributos relacionados à sedimentação química e clástica			
	1	35	35	125
	0	35	0	
	3	30	90	
	Atributos relacionados a interesse científico			
	0	30	0	90
3	30	90		

Classificação do grau de relevância das cavernas

Os resultados da classificação de importância relativa aos atributos de cada cavidade natural subterrânea, avaliados sob os enfoques local e regional, estão presentes na Tabela 3.

A quantificação das feições geológicas de cavernas que não são classificadas como grau máximo de relevância baseou-se no Anexo IV da instrução normativa, o qual traz

exclusivamente a chave para classificação de cavidades naturais subterrâneas (Quadro 2). A partir da utilização do método em discussão foi possível determinar a relevância espeleológica das cavernas analisadas com base exclusivamente nas feições geológicas (Quadro 3).

Tabela 3: classificação da importância relativa aos atributos da cavidade natural subterrânea, avaliados sob os enfoques local e regional.

Importância	Número de grupos de atributos considerados minimamente significativos para a classificação do grau de relevância	
	Enfoque local	Enfoque regional
Acentuada	4 a 8	2 a 4
Significativa	1 a 3	1
Baixa	0	0

Fonte: MMA (2017).

Quadro 2: chave de classificação do grau de relevância de cavidades naturais subterrâneas.

ENFOQUE REGIONAL	Importância acentuada	ENFOQUE LOCAL	Importância acentuada	ALTA RELEVÂNCIA
	Importância significativa	ENFOQUE LOCAL	Importância acentuada	ALTA RELEVÂNCIA
			Importância significativa	MÉDIA RELEVÂNCIA
	Importância Baixa	ENFOQUE LOCAL	Importância acentuada	MÉDIA RELEVÂNCIA
			Importância significativa	BAIXA RELEVÂNCIA
			Importância baixa	BAIXA RELEVÂNCIA

Fonte: MMA (2017).

Quadro 3: classificação da relevância espeleológica das oito cavidades naturais subterrâneas foco dessa pesquisa.

Cavidades subterrâneas analisadas	Grupos de atributos considerados minimamente significativos	Importância no enfoque regional	Importância no enfoque local	Relevância	Atributo de Máxima relevância identificado
Gruta Olhos d'Água	2	Baixa	Significativa	Baixa	Nenhum
Gruta de Pinheiro Seco	2	Baixa	Significativa	Baixa	Nenhum
Caverna das Andorinhas	2	Baixa	Significativa	Baixa	Feições morfológicas internas raras (um item presente dentro do atributo morfologia única) e gênese única ou rara
Caverna da Chaminé	2	Baixa	Significativa	Baixa	Nenhum
Gruta da Piedade	2	Baixa	Significativa	Baixa	Feições morfológicas internas raras (um item presente dentro do atributo morfologia única)

continua

conclusão

Cavidades subterrâneas analisadas	Grupos de atributos considerados minimamente significativos	Importância no enfoque regional	Importância no enfoque local	Relevância	Atributo de Máxima relevância identificado
Caverna do Triângulo	1	Baixa	Significativa	Baixa	Nenhum
Sistema de Cavernas da Água Corrente	2	Baixa	Significativa	Baixa	Nenhum
Gruta do Saco Grande	2	Baixa	Significativa	Baixa	Nenhum

DISCUSSÃO

Das oito cavidades subterrâneas avaliadas, apenas duas foram classificadas como de máxima relevância de acordo com a IN MMA nº2/2017 - a Caverna das Andorinhas e a Gruta da Piedade. Ambas as cavernas possuem o atributo 'morfologia única', porém apenas com relação direta à forma e organização espacial das galerias, e não com as feições geológicas e demais aspectos da geodiversidade.

A Caverna das Andorinhas também é classificada como de máxima relevância pela gênese única ou rara, por apresentar um diferencial com relação ao seu processo de formação e dinâmica evolutiva, em escala regional. Porém, estas duas cavidades também foram quantificadas sobre os enfoques locais e regionais, para identificar a relevância entre alta, média ou baixa com base apenas nas feições geológicas.

O resultado minimamente significativo para cada grupo de atributo a ser considerado na classificação do grau de relevância deve ser igual ou superior ao valor 90 (30% do valor potencial máximo para cada grupo de atributos). Na quantificação das feições geológicas das oito cavidades, a Gruta do Triângulo atingiu o valor mínimo apenas no grupo de atributos relacionados a 'interesse científico', as demais cavernas atingiram pontuação suficiente nos dois grupos de atributos.

A subjetividade encontrada em alguns parâmetros de avaliação, e até mesmo inconsistências no agrupamento de atributos, fez com que não seja possível atingir o valor minimamente considerado. Em relação ao 'interesse científico', três atributos devem ser avaliados de acordo com a IN MMA nº2/2017. Entretanto, o atributo 'localidade tipo' se refere a aspectos biológicos e possui a maior contribuição em porcentagem (40%). Mesmo não interferindo no resultado final e no valor mínimo de 30% do potencial máximo para cada grupo de atributos, atributos geológicos e biológicos não deveriam constar num mesmo grupo de avaliação, principalmente pelo fato de os valores e parâmetros adotados serem diferentes.

Em relação ao parâmetro 'muitos processos de deposição', no que se refere ao atributo 'diversidade de depósitos químicos', também há dúvidas e subjetividades. Definir

e quantificar os processos de deposição química de cavernas nem sempre é fácil, demandando estudos aprofundados e em elevada escala de detalhe.

Outra subjetividade identificada é o parâmetro 'maturidade' para o atributo 'configuração dos espeleotemas'. A dúvida é como saber qual é a maturidade de um espeleotema. Pela forma ou tamanho? E em relação ao litotipo associado, como chegar a esse resultado? Se a maturidade for relacionada com o tamanho das feições, deve haver um parâmetro que pode variar quando se trata de diferentes contextos geológicos e composições químicas distintas. Essas são questões que por não estarem especificadas na legislação, podem levar a um resultado negativo na classificação final de relevância.

De acordo com o Quadro 2, a partir da quantificação dos atributos, conclui-se que não há grupos de atributos considerados minimamente significativos para a classificação do grau de relevância, uma vez que sob o enfoque local, as cavernas analisadas tiveram apenas dois grupos avaliados, tendo como resultado a importância significativa.

A exigência de grupos de atributos mínimos para classificar o grau de relevância de uma determinada caverna, através dos enfoques locais e regionais, faz com que os aspectos da geodiversidade subterrânea sempre sejam minimizados na avaliação final (conforme indica o Quadro 3). Isso ocorre devido aos aspectos naturais do meio abiótico serem reduzidos à apenas dois grupos de atributos na fase de avaliação sobre o enfoque local.

Como não há atributos diretamente associados às feições geológicas, para serem avaliados no enfoque regional, conforme a chave de classificação, a importância no enfoque local é classificada como significativa. Assim, considerando apenas as feições geológicas, uma cavidade natural subterrânea que não apresente espeleotemas únicos e/ou feições morfológicas internas raras, ou seja, não for enquadrada como de máxima relevância, mesmo quando desenvolvida em diferentes litotipos, automaticamente apresentará baixa ou média relevância.

Este dado será reafirmado principalmente nos casos em que a caverna não apresente dados significativos em relação à espeleometria e elementos hidrológicos, dados comuns de serem registrados em cavernas por todo o Brasil. No entanto, em relação aos aspectos espeleométricos, a normativa considera que a cavidade só é classificada como de máxima relevância quando a extensão (horizontal ou vertical), área ou volume sejam superiores a oito vezes a mediana relativa ao enfoque local ou regional. Este parâmetro não possui razoabilidade, pois não explica o motivo do uso de tais valores para definir o que são dimensões notáveis. No que se referem aos elementos hidrológicos, dois atributos são avaliados de acordo com a legislação, drenagem subterrânea e lago. Mas baseia-se apenas no apontamento de presença ou ausência destes elementos, sem considerar casos de cavidades situadas em regiões de clima semiárido, por exemplo, situações em que são comuns ocorrências de cavernas secas.

Estes dois tópicos da IN MMA nº/2017 não fazem parte do escopo desta pesquisa, mas assim como outros pontos da referida legislação, merecem análises e reflexões críticas a respeito.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho avaliou apenas os atributos relacionados às feições geológicas para determinar a relevância espeleológica com base na Instrução Normativa MMA nº/2017, comparando cavernas desenvolvidas em diferentes tipos de rochas. Desses atributos, apenas a presença de espeleotemas únicos, morfologia única (especificamente as feições morfológicas internas raras) e/ou gênese única ou rara configuram o grau de relevância máxima, classificação que não permite a supressão da cavidade subterrânea. Os demais atributos avaliados podem resultar na relevância alta, média ou baixa para a caverna.

Todavia, esse estudo identificou que, analisando apenas as feições geológicas, se a caverna não apresentar máxima relevância, automaticamente ela será classificada como de baixa relevância. São apenas dois grupos de atributos de geofomas considerados na lei pela análise sob o enfoque local e nenhum sob o enfoque regional. Assim, devido a estes fatores, ao aplicar os resultados na chave de classificação, automaticamente a cavidade é considerada como de baixa relevância no enfoque regional e de importância significativa no enfoque local, impossibilitando que a caverna possa ser classificada como de média ou alta relevância.

O grupo de atributo sobre interesse científico inclui um atributo que não está relacionado com aspectos da geodiversidade e que apresenta a maior contribuição. O erro neste caso foi considerar parâmetros biológicos e geológicos em conjunto e conferir uma contribuição maior justamente ao aspecto biológico. Situações como essa corroboram um cenário de desfavorecimento da geodiversidade em relação à biodiversidade, comumente observada nas mais diversas áreas das ciências naturais, como também nas políticas públicas e ações de gestão e conservação da natureza.

Quando na avaliação restrita às feições geológicas, as oito cavidades escolhidas nesse trabalho foram classificadas como de baixa relevância, pois nenhuma atingiu o resultado minimamente significativo. No entanto, estas cavernas apresentam importantes elementos geológicos e não poderiam ser classificadas como de baixa relevância quando na análise destes atributos isoladamente.

Se uma caverna não for classificada como de alta ou máxima relevância a partir dos outros atributos (biológicos, culturais, espeleométricos), que não os relacionados às feições geológicas, ela terá uma categorização baixa. Esta situação aponta para um grave problema, pois o método de quantificação não pode atribuir relevância de valor elevado apenas de forma dependente de outros grupos. Neste caso, as feições geológicas só serão contabilizadas para a proteção de uma cavidade se somadas a outros grupos de atributos de outras áreas temáticas.

O resultado desta pesquisa revelou inconsistências na IN MMA nº 2/2017 para a avaliação dos aspectos da geodiversidade de cavernas. Mesmo após a recente revisão desta legislação, ainda há falhas que necessitam ser revistas e subjetividades que precisam ser minimizadas. Dessa forma, considera-se importante rever os grupos de atributos e parâmetros de avaliação da normativa, a fim de buscar métodos menos subjetivos e mais

precisos, visando maior equidade dos atributos a serem avaliados, sobretudo os relacionados aos aspectos da geodiversidade subterrânea.

AGRADECIMENTOS

A primeira autora agradece a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de doutorado no período de 2016 a 2020.

REFERÊNCIAS

- Assine, M.L. (1996) *Aspectos da estratigrafia das sequências pré-carboníferas da Bacia do Paraná no Brasil*. Tese de doutorado em Geologia Sedimentar, Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, Brasil. Recuperado de https://teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44136/tde-10112015-154800/publico/Assine_Doutorado.pdf
- Assine, M.L. (1999). Fácies, icnofósseis, paleocorrentes e sistemas deposicionais da Formação Furnas, no flanco sudeste da bacia do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, 29, 357-370. Recuperado de <https://ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/11067>
- Borghetti L. (1993). *Caracterização e análise faciológica da Formação Furnas (Período Devoniano inferior) em afloramentos do bordo leste da bacia sedimentar do Paraná, Estado do Paraná, Brasil*. Dissertação de Mestrado em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (2022). *Relatório Estatístico do CANIE*. Recuperado de http://www.icmbio.gov.br/cecav/index.php?option=com_icmbio_canie&controller=relatorioestatistico&itemPesq=true
- Caltabeloti, F.P. (2011). *Alojamento e deformação de plútons graníticos da extremidade nordeste da suíte intrusiva Cunhaporanga (Domínio Apiaí – Faixa Ribeira, PR)*. Dissertação de Mestrado em Geoquímica de Geotectônica. Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, Brasil. Recuperado de <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44141/tde-16082011-170032/publico/FPC.pdf>
- Calux, A.S. (2013). *Gênese e desenvolvimento de cavidades naturais subterrâneas em formação ferrífera no quadrilátero ferrífero, Minas Gerais*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Belo Horizonte, Brasil. Recuperado de <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/IGCC-9GQNG9>
- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (2014). *Download de mapas em PDF. Mapa geológico do estado de Minas Gerais - 1:1.00.000*. Recuperado de www.geobank.cprm.gov.br.
- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (2014). *Download de mapas em PDF. Mapa geológico do estado de Santa Catarina - 1:500.000*. Recuperado de www.geobank.cprm.gov.br.
- Conselho Nacional de Meio Ambiente (2004). *Resolução nº 347, de 10 de setembro de 2004*. Recuperado de http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=443.
- Constituição da República Federativa do Brasil de 1988*. Recuperado de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/ConstituicaoCompilado.htm.
- Decreto Federal Nº 99.556, de 1º de Outubro de 1990*. Recuperado de <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1990/decreto-99556-1-outubro-1990-339026-publicacaooriginal-1-pe.html>.
- Decreto nº 6640 de 7 de novembro de 2008*. Recuperado de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-010/2008/Decreto/D6640.htm.
- Ferraz, P.C. (2013). Cavidades: conservação ou preservação? *Revista Direito Ambiental e sociedade*, 3(1), 173-196. Recuperado de <http://www.uces.br/etc/revistas/index.php/direitoambiental/article/view/3622/2072>

- Ganem, R.S. (2009). *As cavidades naturais subterrâneas e o decreto nº 6.640/2008*. Brasília: Consultoria Legislativa. Câmara dos Deputados. Recuperado de <https://www.terrabrasil.org.br/ecotecadigital/pdf/as-cavidades-naturais-subterraneas-e-o-decreto-no-66402008-.pdf>
- Grupo Universitário de Pesquisas Espeleológicas (2017). *Patrimônio espeleológico do Parque Nacional dos Campos Gerais: Ações prioritárias para o Manejo e propostas de ampliações da Unidade de Conservação*. Ponta Grossa. Relatório técnico. Recuperado de https://issuu.com/gupe.espeleo/docs/patrim_nio_espeleol_gico_do_parque_
- Massuqueto, L.P., Melo, M.S., Guimarães, G.B., & Lopes, M.C. (2009). Cachoeira de Santa Bárbara no Rio São Jorge, PR - Bela paisagem realça importante contato do embasamento com rochas glaciogênicas siluro-ordovicianas. Pp.163-174. In M. Winge, C. Schobbenhaus, C.R.G. Souza, A.C.S. Fernandes, M. Berbert-Born, & E.T. Queiroz (Ed.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Brasília: CPRM, 2009. v. 2. 515 p. Recuperado de http://sigep.cprm.gov.br/sitio047/sitio047_impresso.pdf.
- Massuqueto, L.L. (2013). *Estudo do manejo turístico na gruta de Pinheiro Seco (PR): estratégias para a geoconservação do patrimônio espeleológico*. Dissertação de Mestrado em Gestão do Território, Universidade Estadual de Ponta Grossa, UEPG, Ponta Grossa, PR, Brasil. Recuperado de <http://tede2.uepg.br/jspui/handle/prefix/609>
- Massuqueto, L.L., Fernandes, L.A., & Pontes, H.S. (2017). Inventário da geodiversidade da caverna das Andorinhas, município de Ponta Grossa, Campos Gerais do Paraná. *Anais do Simpósio Sul -Brasileiro de Geologia*, Curitiba, PR, Brasil, 10. Recuperado de <http://ssbg2017anais.siteoficial.ws/ST2/ST201.pdf>.
- Melo, M.S., & Giannini, P.C.F. (2007). Sandstone dissolution landforms in the Furnas Formation, Southern Brazil. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32, 2149- 2164.
- Mochiutti, N.F.B., & Tomazzoli, E.R. (2017). Espeleotemas de uma caverna granítica na Ilha de Santa Catarina: uma análise preliminar. In M.A. Rasteiro, C.M. Teixeira-Silva, & S.G. Lacerda (orgs.). *Anais do Congresso Brasileiro de Espeleologia*. Ouro Preto, MG, Brasil, 34. pp. 327-333. Recuperado de http://www.cavernas.org.br/anais34cbe/34cbe_327-333.pdf.
- Mochiutti, N.F.B. (2020). *Cavidades naturais subterrâneas em granito: estudo de caso do Sistema de Cavernas da Água Corrente - Ilha de Santa Catarina, SC - Brasil*. Tese de doutorado em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis, SC, Brasil. Recuperado de <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/216186>
- Pereira, M.C. (2012). *Aspectos genéticos e morfológicos das cavidades naturais da Serra da Piedade, Quadrilátero Ferrífero/MG*. Dissertação de mestrado em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil. Recuperado de <http://hdl.handle.net/1843/MPBB-8TXEZV>
- Pontes, H.S., & Melo, M.S. (2011). Caverna da Chaminé, Ponta Grossa, PR, Brasil: potencial espeleológico, recursos hídricos subterrâneos e riscos geoambientais. Sociedade Brasileira de Espeleologia - SBE. Campinas, SP. *Espeleo-Tema*, 22(1), 111-126. Recuperado de https://www.cavernas.org.br/wp-content/uploads/2011/01/espeleo-tema_v22_n1.pdf
- Pontes, H. S., & Bagatim, H.Q. (2012). *Estudo Espeleológico no Distrito de Abapã, município de Castro (PR)*. Trabalho de exploração, prospecção e estudo espeleológico para licenciamento ambiental.
- Pontes, H.S. (2019). *Patrimônio geológico cárstico em rochas areníticas e políticas públicas de geoconservação, com base em estudo de caso do município de Ponta Grossa (PR)*. Tese de doutorado em Geologia, Universidade Federal do Paraná, UFPR, Curitiba, PR, Brasil. Recuperado de <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/66390>
- Pontes, H.S., Fernandes, L.A., Melo, M.S., Guimarães, G.B., & Massuqueto, L.L. (2020) Speleothems in quartz-sandstone caves of Ponta Grossa municipality, Campos Gerais region, Paraná state, southern Brazil. *International Journal of Speleology*, 49, 119-136. <https://doi.org/10.5038/1827-806X.49.2.2313>
- Siga Jr., O., Basei, M.A.S., Sato, K., Prazeres Filho, H.J., Cury, L.F., Weber, W., ... & Reis Neto, J.M. (2003). U-Pb (zircon) ages of metavolcanic rocks from the Itaiacoca Group: tectonic implications. *Geologia-USP. Série Científica*, 3, 39-49. Recuperado de <https://www.revistas.usp.br/guspsc/article/view/27382>
- Souza, A.P. (1990). *Mapa geológico na escala 1: 50.000 e esboço da evolução tectônica e sedimentar do Grupo Itaiacoca, nas folhas Barra do Chapéu e Ouro Verde - SP/PR*. Dissertação de Mestrado em Geologia, Universidade de São

Paulo, USP, São Paulo, SP, Brasil. Recuperado de https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44131/tde-21082015-130642/publico/Souza_Mestrado.pdf

Szabó, G.A.J., Andrade, F.R.D., Guimarães, G.B., Moya, F.A., & Carvalho, F.M.S. (2004). Genesis of talc deposits and the metamorphic history of the Itaiacoca Group metadolomites, southern Brazil. *Proceedings of the International Congress on Applied Mineralogy*. Águas de Lindóia, MG, Brasil, 8. pp.759-761.

Recebido em 12/maio/2021

Versão corrigida recebida em 21/set./2021

Aceito em 22/set./2021

Publicado online em 15/fev./2022