

Avaliação de inventários e mecanismos de qualificação de cavernas pela perspectiva do uso educativo e da divulgação científica

Assessment of cave inventories and qualification mechanisms from the perspective of educational use and scientific dissemination

Daniel de Stefano Menin¹ , Denise de La Corte Bacci² 

¹Universidade de São Paulo - USP, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrologia, Rua do Lago, 562, Cidade Universitária, CEP: 05508-080, São Paulo, SP, BR (danielmenin@usp.br)

²USP, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental, São Paulo, SP, BR (bacci@usp.br)

Recebido em 30 de setembro de 2021; aceito em 19 de maio de 2022.

Resumo

Ante as atuais discussões em torno da necessidade de projetos que promovam a conservação de cavernas brasileiras, este artigo apresenta uma avaliação dos mecanismos de inventário e qualificação de cavernas disponíveis e destaca as adequações necessárias para o uso das informações em projetos educativos e de divulgação científica. Os dados foram levantados por meio de análise documental de 24 estudos produzidos por pesquisadores e instituições de pesquisa, disponíveis em bases de dados nacionais e internacionais. Como parâmetros de análise qualitativa, foram estabelecidas cinco categorias que agruparam os estudos com características similares em: inventários, metodologia de qualificação, técnicas de caracterização e diagnóstico ambiental, teses e publicações técnico-científicas, e outras avaliações sobre o patrimônio espeleológico. Cada estudo foi submetido também a uma análise quantitativa, com a determinação de uma escala numérica representativa da usabilidade para projetos educativos. Os critérios utilizados basearam-se nos conteúdos presentes e nas características de adequação dos estudos para projetos educativos. Os resultados apontam que há grande variação nos dados dos inventários de qualificação, elaborados com base em objetivos específicos. Para o uso educativo e de divulgação científica, o plano de manejo é o que melhor contempla as informações que podem ser utilizadas, mas apresenta ainda uma linguagem técnica e está limitado a algumas regiões. A análise comparativa indicou que, para a elaboração de estratégias pedagógicas e materiais didáticos, é necessária a combinação de informações dos vários mecanismos. Conclui-se pela necessidade de um mecanismo avaliativo que possa responder de forma clara e objetiva às demandas da inserção do tema das cavernas de forma interdisciplinar na educação básica e que possibilite a apropriação dos conhecimentos do patrimônio espeleológico por professores e estudantes.

Palavras-chave: Geoconservação; Patrimônio espeleológico; Educação.

Abstract

Due to the current discussions about the need for projects to promote the conservation of Brazilian caves, this article presents an assessment of the mechanisms available for the inventory and qualification of caves, and highlights the necessary adjustments for the use of such information in educational and scientific dissemination projects. The data were collected through the documentary analysis of 24 studies produced by researchers and institutions, available in national and international databases. As parameters for qualitative analysis, five categories were established that grouped studies with similar characteristics into: inventories, qualification methodology, environmental characterization and diagnosis techniques, theses and technical-scientific publications, and other evaluations of the speleological heritage. Each study was also submitted to a quantitative analysis, with the determination of a numerical scale representing its usability for educational projects. The criteria adopted were based on content and on the studies' suitability for educational purposes. The results indicate that there is relevant data variation between the qualification inventories. For educational use and scientific dissemination, the management plan is the one that best addresses the information that can be used, but it still has technical language and is limited to some regions. The comparative analysis showed that, for the elaboration of pedagogical strategies and teaching materials, it is necessary to combine information from different mechanisms. In conclusion, an evaluation mechanism is needed that can respond clearly and objectively to demands for the inclusion of the theme of caves in basic education, in a way that is interdisciplinary and that allows teachers and students to appropriate knowledge of the speleological heritage.

Keywords: Geoconservation; Speleological heritage; Education.

INTRODUÇÃO

Desde 2017, vem sendo desenvolvido um projeto educativo em escolas públicas e privadas do Brasil que visa promover a espeleologia como tema gerador interdisciplinar (Menin, 2021; Menin et al., 2022). O projeto busca, por meio do fascínio que as cavernas exercem nos estudantes, especialmente naqueles que moram próximos a elas, promover conexões entre as diferentes disciplinas escolares e proporcionar novos significados aos conhecimentos presentes no currículo atual da educação básica.

No início de 2020, este projeto passou a ser objeto de pesquisa acadêmica com o objetivo de avaliar os aspectos teóricos-metodológicos e a aprendizagem no contexto de pesquisa na área de educação em geociências e geoconservação, tendo como foco as escolas públicas do Vale do Ribeira, no estado de São Paulo. A pesquisa incorporou, entre outros referenciais teóricos, a educação baseada no lugar (Semken et al., 2017) cuja proposta é educar por meio de exemplos locais promovendo maior identificação do indivíduo com o que aprende.

Para que se tenha conhecimento adequado do meio físico natural e de seus recursos, bem como se promova a consciência dos valores para a sociedade, são utilizados no contexto da geoconservação diferentes mecanismos para identificação, inventário e quantificação de geossítios e sítios da geodiversidade (Serrano e Ruiz-Flaño, 2007; Pereira et al., 2013; Brilha, 2016; Garcia et al., 2018; Santos, 2019). Dessa maneira, o desenvolvimento do projeto educativo em escolas do Vale do Ribeira pressupõe o conhecimento dos inventários espeleológicos e fontes de informações estruturadas no país sobre as cavernas e o patrimônio espeleológico local.

Embora a região represente uma das mais ricas e estudadas províncias espeleológicas do Brasil (Karmann e Ferrari, 2000), as cavernas ainda parecem ocupar uma posição marginal ou de maior subjetividade nos mecanismos usuais de qualificação do patrimônio geológico, não se enquadrando eficientemente nos métodos tradicionais de avaliação presentes na literatura (Brilha, 2016; CPRM, 2020).

Pela ótica do uso educativo, este artigo levantou as principais metodologias de inventário, caracterização e qualificação de cavernas disponíveis em nível nacional e internacional, com o objetivo de responder às seguintes questões: como esses estudos contribuem para a educação e divulgação científica baseada no lugar? Tais estudos dispõem de informações suficientes que possam ser usadas na elaboração de estratégias pedagógicas e de materiais didáticos sobre o patrimônio espeleológico local?

O contexto das cavernas na geoconservação brasileira

Segundo Gray (2004, 2013), entende-se por geodiversidade a variedade natural de feições geológicas (rochas,

minerais, fósseis), geomorfológicas (processos, paisagens) e de solos. Assim, as cavernas, seus ambientes subterrâneos e elementos físicos associados fazem parte da geodiversidade, um patrimônio natural a cada dia mais reconhecido e também ameaçado.

As atividades recreativas, educativas ou turísticas exercem pressões sobre o uso das cavernas como um recurso regional para o desenvolvimento econômico. Além disso, políticas públicas também pressionam em escala nacional a preservação ambiental, por exemplo, as tentativas de flexibilização em decretos para facilitar a exploração de áreas preservadas que influenciam a regulamentação, a compreensão e o uso do patrimônio espeleológico (SBE, 2020). É evidente que a maior parte das ameaças às cavernas poderia ser menor se o poder público, nos diferentes níveis, e a sociedade possuísem um mínimo de conhecimento técnico-científico na área das Ciências da Terra (Stewart e Nield, 2013), além também de maior interesse político na preservação ambiental.

Ante esse cenário, e como é impossível conservar toda a geodiversidade, é necessário que as estratégias de geoconservação sejam empregadas após um inventário detalhado e a identificação do patrimônio geológico, de sua caracterização e quantificação de interesse, relevância e vulnerabilidade (Brilha, 2016). Segundo Gray (2004, 2013), é necessário identificar os valores da geodiversidade que contemplam aspectos intrínsecos, culturais, estéticos, econômicos, funcionais, científicos e educativos, justificando a implementação de medidas que promovam a sua conservação. As cavernas, embora não sejam citadas diretamente nessas publicações, certamente estão inseridas nesse contexto. Em contrapartida, será que estão inventariadas e qualificadas de maneira organizada e clara para compreensão e uso da sociedade?

Diferentes mecanismos têm sido utilizados para caracterização e qualificação de sítios geológicos no Brasil (Garcia et al., 2018; CPRM, 2020), mas classificar cavernas seguindo os mesmos parâmetros em uso para geossítios a céu aberto parece ser uma tarefa complexa. Se, de um lado, compreende-se que, na maioria dos mecanismos de avaliação disponíveis, os sítios de superfície estão sujeitos a análises subjetivas, de outro, as cavernas podem ser ambientes ainda pouco explorados e, portanto, abrigar elementos não visíveis nas primeiras análises de campo (Woo e Kim, 2018).

Para que as informações sobre as cavernas brasileiras estivessem organizadas e, também, buscando atender à legislação vigente no país (Decreto nº 6.640/2008, do Ministério do Meio Ambiente), metodologias de atribuição de relevância foram desenvolvidas e inventários foram implementados por diferentes pesquisadores [Cadastro Nacional de Cavernas (CNC) da Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE); Sistema de Cadastro e Quantificação de Geossítios e Sítios da Geodiversidade (GEOSSIT); Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (CANIE)].

No que se refere à conservação e ao uso consciente do meio subterrâneo, trabalhos que buscam qualificar áreas cársticas em decorrência de sua vulnerabilidade ambiental e uso vêm sendo ampliados nas universidades brasileiras, principalmente em relação a análises de vulnerabilidade sobre aquíferos (Santos et al., 2010; Nossa, 2011; Dos Santos, 2013; Gomes et al., 2014; Jansen et al., 2014). Técnicas para diagnóstico de vulnerabilidade também têm sido desenvolvidas e aplicadas em estudos relacionados à biodiversidade subterrânea (Donato et al., 2014; Silva et al., 2015; Souza et al., 2021) e em estudos de capacidade de carga relacionada aos impactos da presença humana nos ecossistemas subterrâneos (Lobo, 2015; Santos, 2019).

O termo “capacidade de carga”, embora usado desde a década de 1960 (Wagar, 1964), teve sua definição mais difundida por intermédio da Organização Mundial do Turismo e se refere ao número máximo de visitantes que um destino pode acomodar sem que haja impactos negativos em seus recursos (WTO, 1992). Em cavernas, a capacidade de carga possibilitou estimar o número máximo de visitantes sem que os ecossistemas do meio subterrâneo fossem comprometidos irreversivelmente (González-Guerrero et al., 2016). As suas análises devem refletir o produto entre as inúmeras variáveis provenientes das interações entre a presença antrópica e o ambiente natural subterrâneo (Lobo, 2015). Para realizar essas análises, a capacidade de carga inclui a dimensão física, relacionada aos aspectos abióticos, e a ecológica, referente aos ecossistemas.

Baseados nesses princípios, estudos em diferentes países (Šebela e Turk, 2014; González-Guerrero et al., 2016; Enseñat-Soberanis et al., 2020; Cheablam e Rattanarat, 2021) têm sido desenvolvidos para determinar a capacidade de carga em cavernas e, assim, fundamentar estratégias para atividades turísticas mais sustentáveis.

No Brasil, esses estudos decorrem principalmente de Planos de Manejo Espeleológicos (PME) em Unidades de Conservação (UC) (Lobo, 2015). Na maioria das vezes, usam métodos para diagnósticos ambientais do meio subterrâneo identificando, assim, os impactos gerados pela visitação humana e suas variações de acordo com diferentes critérios, como rotas de caminhamento e quantidade e concentração máxima de turistas (Lobo et al., 2013).

Classificação de relevância de cavernas pela ótica legal

Em escala global, inventariar cavernas não é uma prática recente. Cientistas vêm realizando trabalhos de levantamento e caracterização de cavernas desde o século XVIII (Duchene, 2006). Mas a crescente interação humana com o meio subterrâneo nas últimas décadas, seja pelas diferentes formas de turismo ou pelo uso dos recursos naturais agregados, tem aumentado a cada ano a pressão sobre esse

patrimônio natural (Cheablam e Rattanarat, 2021). Não somente a necessidade de conservação, mas uma nova perspectiva vem emergindo com a busca pelo uso sustentável desse turismo subterrâneo (Lobo, 2015), o que certamente se reflete em incentivos governamentais e regulamentações voltadas ao levantamento, conhecimento e qualificação desse patrimônio natural (Duchene, 2006; Brasil, 2009, 2017; Woo e Kim, 2018).

O Decreto nº 6.640/2008 da Casa Civil (Brasil, 2008) incumbiu o Centro Nacional de Pesquisas e Conservação de Cavernas (CECAV) a responsabilidade na coordenação da elaboração de uma metodologia para classificação de relevância de cavernas brasileiras (artigo 5º do Decreto nº 99.556/1990).

Um trabalho multidisciplinar com participação da sociedade foi organizado em torno do tema e o resultado foi apresentado e convertido na Instrução Normativa nº 2, de 20 de agosto de 2009 (Brasil, 2009). Em 2017, uma nova norma foi publicada, sendo atualmente a metodologia utilizada para a classificação de relevância para cavernas no Brasil, estabelecida na Instrução Normativa nº 2, de 30 de agosto de 2017 (Brasil, 2017).

Segundo a metodologia apresentada, as cavidades naturais subterrâneas podem ser classificadas como de baixa, média, alta e máxima relevância, de acordo com estudos e análises interdisciplinares. A complexidade dos atributos analisados exige a dedicação de especialistas de diferentes áreas do conhecimento e um período mínimo adequado de estudos, o que pode levar meses ou mesmo anos. São analisados atributos relacionados à biodiversidade e à geodiversidade, entre outros aspectos científicos, históricos e culturais.

Desse modo, a instrução normativa orienta o conhecimento dos aspectos intrínsecos das cavidades para fundamentar tecnicamente tomadas de decisão em relação a diferentes níveis de proteção da caverna e seu entorno. Embora seja um recurso importante no embasamento de licenciamentos evitando perdas irreparáveis ao patrimônio espeleológico, essa metodologia não foi comparada com os demais estudos por estar restrita aos órgãos ambientais e equipes de trabalho, indisponíveis, portanto, para consultas públicas por parte de professores, por exemplo.

Além das já mencionadas dificuldades sobre a caracterização de cavernas, como qualificar ou quantificar seu valor científico tendo como critério apenas a existência de publicações [condição para atribuição de valor científico utilizado por alguns métodos tradicionais como GEOSSIT (Brilha, 2016; CPRM, 2020)]? Uma vez que cavernas são objetos de pesquisas muitas vezes ainda não explorados, podem frequentemente representar um potencial científico não conhecido (Woo e Kim, 2018).

Lobo e Boggiani (2013) afirmam que, embora as cavernas raramente possam ser consideradas patrimônio geológico dada a avaliação de seu valor científico, elas podem ser

consideradas patrimônio natural em decorrência de outros valores, como o paisagístico, o histórico ou o cultural.

Independentemente dos critérios utilizados, para que essas informações estejam disponíveis com a finalidade de embasar novos estudos ou decisões a respeito das cavernas é que existem os inventários espeleológicos.

METODOLOGIA

A presente pesquisa utilizou a análise documental (Lüdke e André, 2013) como instrumento de coleta de dados de diferentes estudos sobre os inventários e métodos de qualificação de cavernas existentes no Brasil e em outros países. Foi realizado um levantamento qualitativo dos dados em bases disponíveis para consulta nos meses de junho de 2020 a setembro de 2021 e considerados cadastros, inventários, metodologias para qualificação de cavernas e publicações científicas nacionais e internacionais.

Para comparar iniciativas estruturalmente diferentes, além das elaboradas de acordo com demandas e objetivos específicos, no presente trabalho também foram definidos critérios de análise quantitativa para o uso das informações na educação e na divulgação científica, com base em documentos orientadores da educação básica (Brasil, 2018) e da experiência no desenvolvimento do projeto educativo em escolas (Menin et al., 2022).

O estudo, portanto, apresenta metodologias mistas de coleta e análise de dados.

A pesquisa compreendeu o levantamento de 24 estudos produzidos por pesquisadores e instituições de pesquisa, disponíveis em bases de dados nacionais e internacionais. Como parâmetros de análise qualitativa, foram estabelecidas cinco categorias que agruparam os estudos com características similares em:

- inventários;
- metodologia de qualificação;
- técnicas de caracterização e diagnóstico ambiental;
- teses e publicações técnico-científicas;
- outras avaliações sobre o patrimônio espeleológico.

As análises qualitativas compararam os estudos, apesar de se compreender que as avaliações respeitam o objetivo ao qual cada estudo foi proposto e se limitam às demandas de viabilidade para uso educativo. Para esse tipo de análise, foram estabelecidas as seguintes categorias:

- cobertura geográfica: de acordo com o método proposto, é possível considerar aplicação em alta cobertura e diferentes regiões? Justificativa: uma alta cobertura geográfica (escala nacional) pressupõe que o estudo represente não só a realidade da região pesquisada, mas de outras regiões ou mesmo do país. Para a sala de aula, ter informações amplas ajuda a contextualizar exemplos em diferentes escalas;

- acessibilidade: o inventário está disponível ao público e as informações são facilmente encontradas? Justificativa: para o planejamento de aulas, elaboração de materiais didáticos e organização de aulas de campo, é preciso que as informações estejam acessíveis ou sejam de uso público, bem como sejam de fácil compreensão por não especialistas;
- metodologia de valoração: o inventário analisado dispõe de algum mecanismo de qualificação ou quantificação dos sítios avaliados? Se sim, qual o método utilizado? Justificativa: o conteúdo pedagógico pressupõe comparações entre cavernas e regiões como análises de ordem de grandeza (*ranking* espeleométrico de cavernas, *ranking* para uso de campo, análises educativas de percentual de impactos ambientais ou potencial científico, por exemplo, são algumas informações úteis para contextualizar o patrimônio espeleológico regional e nacional em sala de aula);
- dependência científica e acadêmica: considerando tanto o mecanismo de avaliação quanto sua correta interpretação, qual o grau de dependência de especialistas acadêmicos? Justificativa: dados que dependam de estudo científico (monitoramento ambiental ou de biota, por exemplo) podem representar dificuldade de aplicação, atualização, maior custo e difícil compreensão pelos professores da educação básica ou do público em geral. A dependência de pesquisas científicas coloca em risco a qualificação, podendo desconsiderar os saberes regionais nas avaliações realizadas;
- grau de subjetividade: qual o nível de subjetividade reconhecida (pelo método ou por outros pesquisadores) nos processos de avaliação do inventário em questão? Justificativa: quanto maior a subjetividade, maiores podem ser as margens para diferentes interpretações também em sala de aula e na elaboração de materiais e estratégias didáticas.

Para a análise quantitativa, foram consideradas a disponibilidade de informações para a elaboração de materiais didáticos e de divulgação científica, bem como a contribuição dos estudos para os professores elaborarem estratégias pedagógicas na educação básica.

As perguntas orientadoras desta análise para cada um dos estudos foram:

- o método usado contempla informações históricas e culturais sobre as cavidades?;
- apresenta insumos para exemplificar o conhecimento científico associado às cavidades estudadas (geologia, paleontologia, biologia, climatologia, arqueologia)?;
- apresenta informações sobre o uso turístico e educativo de campo (localização, acesso, avaliações de segurança, orientações)?;
- apresenta exemplos sobre conservação (estado de degradação, avaliações sobre fragilidade e vulnerabilidade)?;
- oferece caracterização das cavernas possibilitando análises comparativas entre cavidades ou mesmo regiões diferentes?

Para cada questão, foi atribuído um valor numérico de acordo com o grau de contribuição para a educação e divulgação científica (Tabela 1).

Para a análise, consideraram-se dois blocos de atributos comparativos entre os estudos: o bloco “conteúdo” e o bloco “características”. Entendemos por conteúdo as informações que cada mecanismo disponibiliza sobre as cavernas inventariadas para uso pedagógico. São elas:

- informações histórico-culturais sobre as cavidades;
- exemplos científicos ou conhecimento científico associado sobre cada caverna;
- informações sobre o uso turístico e educativo das cavidades;
- informações sobre o estado de conservação da caverna inventariada.

Os conteúdos foram escolhidos tendo como base o currículo escolar (Brasil, 2018) e o desenvolvimento do

projeto educativo com as cavernas (Menin et al., 2022). Consta-se que a disponibilidade de informações históricas, culturais, científicas e turísticas bem como exemplos pedagógicos de processos naturais encontrados nas cavernas são conteúdos essenciais na construção dos processos educativos e materiais didáticos como apostilas, livros, fotos e filmes. Exemplos de materiais didáticos criados com base nesses conteúdos podem ser observados nas Figuras 1 a 6.

O bloco características compreende elementos funcionais. A organização na Tabela 1 segue um agrupamento das categorias já mencionadas e que são avaliadas em detalhes sobre cada estudo na Tabela 2. São elas: a facilidade de acesso, a cobertura geográfica, a disponibilidade de dados que possibilitam a comparação com outros estudos, o grau de subjetividade e a dependência científica ou acadêmica encontrada no estudo.

Tabela 1. Critérios e valores atribuídos na análise dos mecanismos.

Bloco avaliado	Elemento avaliado	Resultado obtido	Escala de valor
Conteúdos	I) Disponibilidade de informações para uso educativo e de divulgação científica	Não contém informações	0
		Contém poucas informações para compreensão do inventário	1
		Contém informações suficientes para compreensão do inventário, mas insuficientes para o uso educativo	2
		Contém informações suficientes para a compreensão do inventário e para o uso educativo	3
Características	II) Acesso e cobertura geográfica	Baixa cobertura (local)	0
		Média cobertura (regional)	1
		Alta cobertura (nacional)	2
	III) Dados que possibilitam a comparação com outros estudos	Não	0
Sim		1	
IV) Subjetividade e dependência científica ou acadêmica	Alta dependência	0	
	Média dependência	1	
	Baixa dependência	2	



Figura 1. Informação histórica e cultural: Exemplo de conteúdo histórico e cultural com potencial de ser explorado em material pedagógico. (A) uma imagem de pintura rupestre (Parque Nacional Cavernas do Peruaçu); (B) um painel produzido por alunos do ensino fundamental com base nos exemplos apresentados em sala de aula.

Cabe ressaltar novamente que os critérios anteriormente analisados correspondem aos aspectos referentes à aplicabilidade e à usabilidade de cada método para o uso educativo

aqui descrito, não sendo analisados nesta pesquisa os atributos para avaliações das cavidades, seus pesos ou mesmo os cálculos matemáticos utilizados em cada inventário.

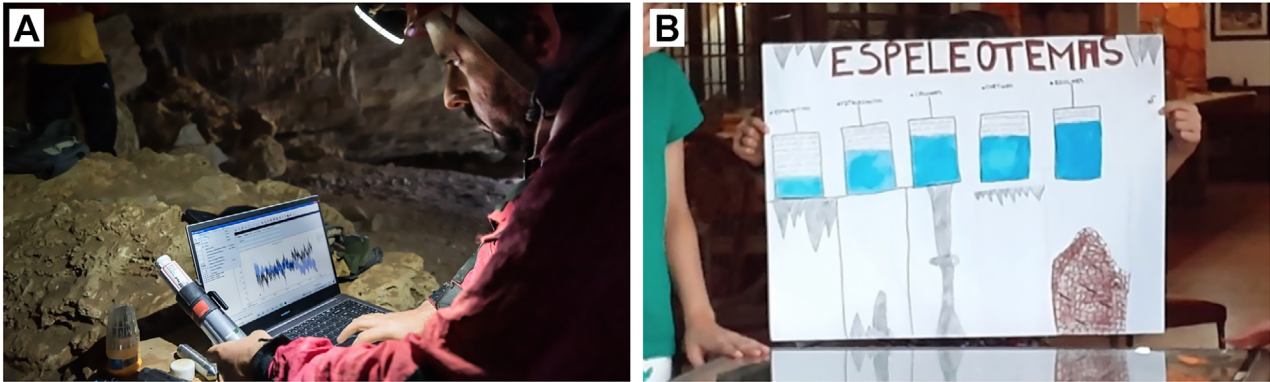


Figura 2. Exemplos científicos: (A) imagem de coleta de dados em campo exemplificando estudos científicos associando o crescimento de espeleotemas com fatores climáticos; (B) exemplo de trabalho realizado por alunos demonstrando entendimento sobre crescimento de espeleotemas de acordo com a disponibilidade de água.



Figura 3. Informação turística: Para o planejamento de atividades pedagógicas em campo, é necessário que a fonte de informações aos professores (inventário ou mecanismo de qualificação) permita comparar cavernas ou regiões de acordo com diferentes possibilidades de uso educativo – (A) aulas de campo, (B) oficinas, entre outras).

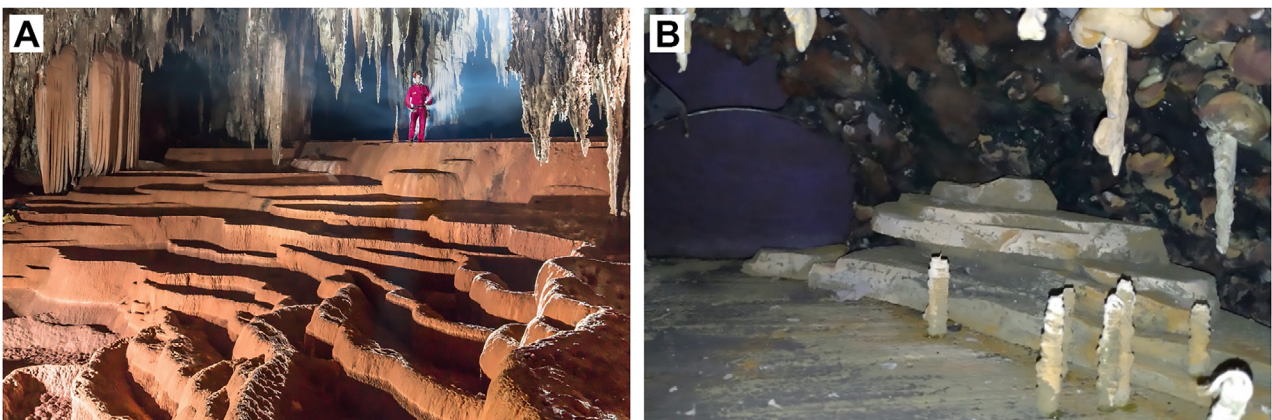


Figura 4. Exemplos educativos: Conteúdo educativo contempla informações de diferentes campos do conhecimento, por exemplo, a disponibilidade e a diversidade de espeleotemas nas cavernas. (A) fotografia utilizada no material didático em sala de aula; (B) parte de uma maquete em miniatura produzida por um aluno de escola da rede pública de Sumaré (SP). É possível observar a semelhança dos espeleotemas entre a imagem real e a maquete (travertinos, estalactites e estalagmites).

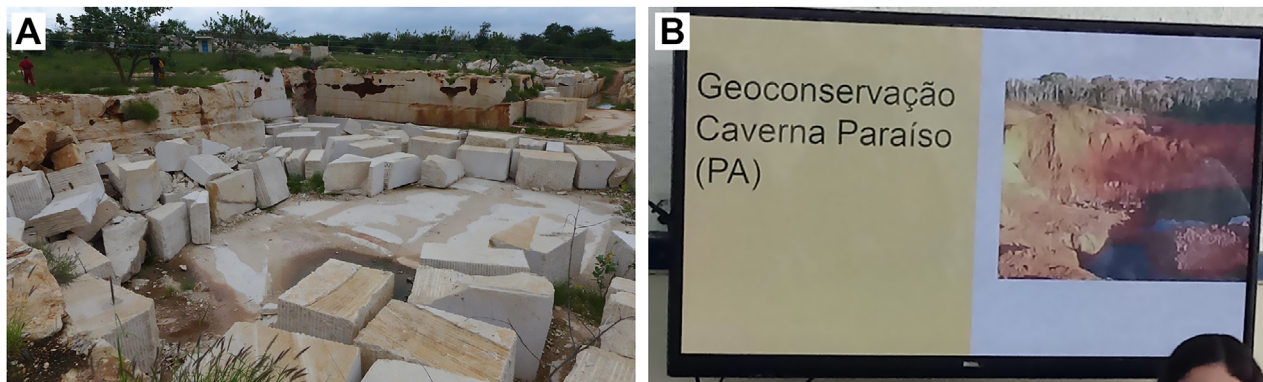


Figura 5. Informação sobre conservação: Dados sobre o estado de conservação das cavernas de determinada região também são úteis para estratégias educativas e materiais didáticos. (A) uma lavra de calcário com condutos aparentemente degradados pela atividade mineradora. (B) uma apresentação em escola abordando o tema da geoconservação em decorrência de exemplos como o da lavra.

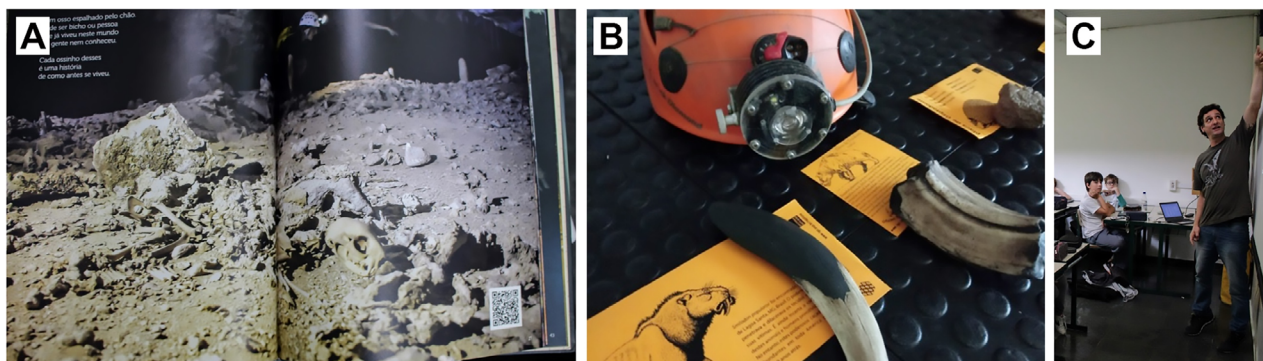


Figura 6. Materiais didáticos utilizados em sala de aula: Informações coletadas nos inventários e mecanismos de qualificação de cavernas podem auxiliar o educador a organizar informações disponíveis, identificar dados de destaque sobre o patrimônio espeleológico e construir melhores estratégias educativas e materiais didáticos personalizados por região. (A) livro com fotografias e recursos didáticos; (B) equipamentos, réplicas de fósseis e amostras geológicas; (C) listas e *rankings* para contextualização.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A análise dos dados apontou que, embora os estudos sejam diferentes em estrutura e objetivo, foi possível agrupá-los em quatro categorias, de acordo com características em comum. A seguir, descrevemos as categorias e apresentamos uma análise das características encontradas.

Inventários

Como inventários, foram considerados os principais cadastros nacionais de cavernas geridos pela sociedade civil SBE e pelo poder público CECAV, respectivamente o CNC (SBE, 2013) e o CANIE (CECAV, 2021). Também foi considerada a ferramenta GEOSIT, do Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2020). Embora o GEOSIT tenha sido considerado inicialmente como inventário, ele é agrupado na Tabela 2 como metodologia de qualificação, uma vez que apresenta uma metodologia para qualificar sítios geológicos utilizada para as cavernas cadastradas no sistema. Por fim, foi

considerado também o inventário do patrimônio geológico do estado de São Paulo (Garcia et al., 2018), somando ao todo quatro estudos.

De uma maneira simplificada, esses trabalhos podem ser entendidos como bancos de dados de informações espeleológicas. Estão disponíveis para consulta pública e têm como objetivo fornecer informações para estudos mais aprofundados ou tomadas de decisão relacionadas à representatividade espeleológica de determinada região. Embora disponham de recursos abertos para inclusão por parte de diferentes atores (grupos de espeleologia, pesquisadores e acadêmicos, principalmente), muitos campos estão com informações incompletas ou a cobertura espacial geográfica ainda é pouco representativa.

Metodologias de qualificação

Esta categoria contempla trabalhos que apresentam metodologias para caracterização e qualificação de cavernas. Foram consideradas pesquisas desenvolvidas no Brasil e estudos de caso em diferentes países.

Tabela 2. Avaliação comparativa para uso educativo das cavernas*.

	GRUPO	NATUREZA DO ESTUDO	OBJETIVO PRINCIPAL	Conteúdo				Características				TI	
				HC	EC	TE	C	A	CG	PC	Sj		D
PME	T e P	Identificação, caracterização e qualificação	Insumo para tomadas de decisão	2	3	3	3	2	0	1	2	0	16
Avaliação de P.E. na Coreia	MQ	Método de caracterização e qualificação de cavernas	Levantamento de valores espeleológicos	2	3	3	3	0	1	1	1	1	15
Proposta de Geoparque Vale do Ribeira	T e P	Identificação e caracterização de sítios	Propor criação de geoparque	1	2	2	2	2	0	1	2	2	14
Cap. de Carga	DA	Levantamento e monitoramento ambiental	Insumo para tomadas de decisão para o turismo	1	1	3	3	0	1	1	2	0	12
CSI	MQ	Avaliação de critérios espeleológicos	Insumos para estratégias de gestão	2	1	2	2	0	1	1	2	1	12
CNC	I	Cadastro de cavernas com caracterização	Base de dados para consulta	1	2	2	1	1	2	0	0	2	11
CCR	MQ	Método para inventariar e qualificar cavernas	Propor um método para qualificação preliminar	1	2	2	2	1	0	1	1	1	11
Sítios do PG nacional	T e P	Identificação e caracterização de sítios	Propor caracterização de províncias espeleológicas	1	2	1	0	1	2	1	2	1	11
Tese (Santos, 2019)	T e P	Identificação e caracterização de sítios (usando métodos existentes)	Caracterização de valores espeleológicos e orientações	2	2	2	2	0	0	1	1	0	10
Inventário do PG do estado de SP	I	Cadastro com caracterização dos sítios	Base de dados para consulta	1	2	2	1	2	0	1	1	0	10
GEOSIT	MQ	Cadastro com qualificação e valoração	Insumo para outros estudos relacionados	1	2	1	1	2	0	1	1	0	9
Mapa de Zoneamento Espeleológico de Lagoa Santa	DA	Levantamento de cavernas com análise de relevância e diagnóstico de impactos	Insumo para tomadas de decisão	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
CANIE	I	Cadastro de cavernas	Base de dados para consulta pública	0	0	1	0	2	2	0	2	2	9
Método Pereira (2010)	MQ	Metodologia de caracterização e valoração	Insumo para tomadas de decisão referente a impactos e uso	0	2	1	1	1	1	1	2	0	9
Dissertação (Ferreira, 2014)	T e P	Identificação e caracterização de sítios por diferentes métodos	Caracterização de valores espeleológicos e orientação	1	1	2	1	0	0	1	1	1	8
Tese (Marra, 2008)	MQ	Inventário e método para qualificar a relevância de cavernas	Insumo para tomadas de decisão referente a impactos e uso	1	1	1	1	0	2	1	0	0	7
EPIK, KDI, CCI, RAP	DA	Diagnósticos	Insumo para outros estudos	0	1	0	3	0	0	1	1	0	6

*As cores correspondem ao agrupamento considerado: I = inventários, cinza; MQ = metodologia de qualificação, azul; DA = técnicas de diagnóstico ambiental, verde claro; T e P = teses e publicações técnicas e científicas, rosa. Para avaliação numérica, os critérios foram agrupados em dois conjuntos, sendo: *conteúdo* – histórico e cultural (HC); potencial espeleológico (P.E.); capacidade de carga real – Lobo (2008) (CCR); patrimônio geológico (PG); exemplos científicos (EC); turístico e educativo (TE) e conservação (C). *Características* – acesso (A); cobertura geográfica (CG); possibilidade comparativa (PC); grau de subjetividade (Sj) e dependência de especialista e acadêmico (D). Os estudos estão orientados de acordo com o *total index* (TI) = soma de todos os critérios. A escala de cor das avaliações nos blocos “conteúdo” e “características” está relacionada com a aderência de cada estudo com as demandas do referido projeto educativo (verde escuro = mais adequado); PME: Plano de Manejo Espeleológico; CSI: *Cave Sensibility System*; CNC: Cadastro Nacional de Cavernas; GEOSIT: Sistema de Cadastro e Quantificação de Geossítios e Sítios da Geodiversidade; CANIE: Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas; EPIK: *Epikarst, Protective cover, Water infiltration, and Karst network*; KDI: *Karst Disturbance Index*; CCI: *Cave Conservation Index*; RAP: *Restoration actions*.

Foi possível constatar em alguns trabalhos acadêmicos, a exemplo de Santos (2019) ou em aplicações práticas (GEOSSIT), ambos descritos ao longo deste texto, possíveis inconsistências nos métodos de avaliação de cavernas, os quais seguiram o método proposto por Brilha (2016). Utilizando a ferramenta GEOSSIT, a pesquisa (Santos, 2019) aponta alguns casos que justificam subnotificações na qualificação de cavernas, o que já seria suficiente para propor ajustes na metodologia para uso na espeleologia. Entre os sítios pesquisados, por exemplo, os que obtiveram maior resultado foram a Caverna Casa de Pedra, o Morro do Ouro e o Mármore de Apiaí, pelo fato de obterem pontuação máxima nos critérios “representatividade” e “raridade”. Como o seu valor científico é maior que 200, são os únicos do inventário realizado considerados como geossítios de relevância nacional. Percebe-se que cavernas como Santana ou do Diabo (Gruta da Tapagem), mesmo notoriamente conhecidas como algumas das mais importantes do país, tanto em critérios espeleométricos quanto científicos, não obtiveram pontuação que as colocassem entre os geossítios de relevância nacional. Essa inconsistência pode ser considerada em diferentes análises feitas por Santos (2019), entre elas, a classificações de “não se aplica” para critérios sem informações suficientes ou mesmo com diferença de respostas entre avaliadores.

Marra (2008) buscou desenvolver um método próprio de quantificação e qualificação de cavernas aplicando-o em todo território nacional. O estudo avaliou 1.169 cavernas (em um universo à época de 6.522 cavernas cadastradas no CNC) e teve como objetivo fornecer um instrumento norteador para tomadas de decisão a respeito de estratégias de conservação do patrimônio espeleológico.

A qualificação baseou-se em atributos dispostos na Resolução Conama nº 347 de 10 de setembro de 2004 (Brasil, 2004) sobre a relevância de cavernas. As avaliações foram realizadas por meio de um questionário respondido por um grupo de especialistas. O questionário abordou critérios estabelecidos para avaliar a relevância e a qualidade das cavernas e o contexto em que estão inseridas. Os critérios avaliados foram: índice de balneabilidade, mapas de fragilidade (morfologia, depósitos clásticos e químicos e paleontologia), microclimatologia, meio biótico e patógenos. Com base nos cálculos obtidos, as cavernas foram classificadas em baixa, alta e média fragilidade. Além dessa qualificação, foram realizadas análises técnicas e científicas, bem como acompanhamentos fotográficos, de clima, de biota e outros aspectos no contexto de plano de manejo.

Os resultados foram submetidos a análises estatísticas que apontaram diferentes valores e contextos sobre a condição das cavernas brasileiras à época. Assim como em outros métodos (Brilha, 2016; Woo e Kim, 2018; CPRM, 2020), também foi encontrada subjetividade nas avaliações, uma vez que os critérios podem ser interpretados de diferentes maneiras.

Outro método analisado foi o sugerido por Pereira (2010), amplamente aplicado em sítios em Portugal, e adaptado por Ferreira (2014) no Parque Estadual Turístico do Alto do Ribeira (PETAR). O autor faz uso de 17 parâmetros que são avaliados e agrupados em quatro valores diferentes (científico, adicional, valor de uso e de preservação). Os cálculos permitem a seriação dos locais em valores secundários, como geomorfológico, de gestão, proteção e valor total. Segundo Ferreira (2014), trata-se de uma metodologia complexa e morosa, mas que permite uma avaliação abrangente com menor subjetividade.

Pereira (2010) também propõe uma metodologia adaptada à realidade brasileira, mais especificamente, à Chapada Diamantina. Nessa metodologia, a avaliação é realizada por 20 critérios agrupados segundo quatro parâmetros (valor intrínseco, científico, turístico e de uso). Os resultados permitem uma seriação dos sítios e uma classificação de relevância em uma escala regional, nacional e internacional. Segundo Ferreira (2014), esse método apresentou resultados consistentes e úteis quando aplicado no território nacional. A autora também analisa o método espanhol de Garcia-Cortés e Urquí (2009) ao qual atribui a necessidade de altos recursos e dependência de uma equipe multidisciplinar para o uso da metodologia.

Em âmbito internacional, um dos métodos analisados foi o *Cave Conservation and Restoration* (Duchene, 2006). Trata-se de um método aplicado e desenvolvido tendo a Caverna Lechuguilla, nos EUA, como modelo. O método apresentado consiste em um levantamento simplificado em campo sobre a ocorrência de elementos bióticos e abióticos. Para fins de obtenção inicial de dados, a ferramenta parece ser funcional, uma vez que oferece a possibilidade de estabelecer valores objetivos sem a necessidade de avaliações complexas. Em contrapartida, não apresenta uma proposta de cálculo para valoração e análise de dados quantitativos para uso comparativo entre cavernas ou regiões.

Na Coreia do Sul, um estudo de caso (Woo e Kim, 2018) apresenta o desenvolvimento e a aplicação de um método de qualificação de cavernas incentivado pelo governo para o estabelecimento de políticas públicas de pesquisa e conservação. Por meio de uma análise de critérios relacionados principalmente ao meio geológico, mas agregando questões sobre fauna, a técnica qualifica as cavernas avaliadas em cinco níveis diferentes de acordo com sua importância. O método chamou a atenção pelo cuidado com o potencial científico ainda não estudado. Feições geológicas como terraços, espeleotemas, paleopisos e depósitos de sedimentos, por exemplo, são associados ao potencial científico futuro. A postura de avaliar o potencial científico adotada pelos autores pode ajudar a diminuir a subavaliação de cavernas pela falta de publicações, observada em outros métodos e mencionado nesse artigo (Brilha, 2016; CPRM, 2020).

O método também se destaca por avaliar critérios espeleométricos (tamanho das cavernas), morfológicos e aspectos indiretos ao potencial biótico (ele assume, por exemplo, que a existência de lagos subterrâneos, entre outros fatores, pode representar a presença de espécies endêmicas).

Assim como em outros estudos aqui descritos, Woo e Kim (2018) também admitem subjetividade nas avaliações. Nesse caso, quando identificada, os autores mencionam a promoção de novas discussões para construção de consensos, embora não expliquem como esses processos ocorrem.

Outro estudo internacional (Harley et al., 2011) apresenta um sistema de avaliação de critérios espeleológicos para estratégias de gestão de cavernas no centro-oeste da Flórida (EUA). O estudo propõe um índice de sensibilidade de caverna (*Cave Sensibility System* – CSI) e um índice de distúrbio da caverna (*Cave Disturbance Index* – CDI).

O CSI é composto dos atributos:

- biota;
- hidrologia;
- geologia, mineralogia e paleontologia;
- histórico e cultural.

Já o CDI é composto dos atributos:

- lixo;
- degradação nos espeleotemas;
- degradação por pichações;
- degradação no piso;
- destruição de artefatos históricos e culturais;
- corrosões;
- dessecação por mudanças no clima interno;
- destruição de fosséis;
- sedimentação;
- perda de riqueza na biota;
- perda na densidade da biota;
- desmatamento;
- agricultura;
- urbanização;
- mineração.

Tanto o CSI quanto o CDI foram medidos por meio de uma soma de valores e seus resultados comparados de acordo com o tipo de gestão (pública ou privada) de cada caverna.

Técnicas de caracterização e diagnóstico ambiental

A análise dos trabalhos aqui presentes optou por agrupar estudos de capacidade de carga e metodologias de diagnóstico ambiental em um só conjunto. São eles: *Epikarst, Protective cover, Water infiltration, and Karst network* (EPIK), *Karst Disturbance Index* (KDI), *Cave Conservation Index* (CCI) e *Restoration actions* (RAP).

Embora apresentem diferenças relacionadas às suas especificidades de método e coleta de dados, os objetivos desse

grupo de estudos estão relacionados a fornecer diagnósticos de alterações ambientais para identificação de impactos e orientação de uso consciente do meio subterrâneo. Pelo caráter histórico, foi incluído nesse grupo o Mapa de Zoneamento Espeleológico de Lagoa Santa (Souza, 1998).

Estudos mais recentes realizados em cavernas brasileiras têm demonstrado que a capacidade de carga nos ambientes subterrâneos deve ser entendida como uma técnica dinâmica, a qual apresenta respostas diferentes de acordo com inúmeras variáveis intrínsecas e extrínsecas à natureza da caverna (Lobo, 2015). Sazonalidade do clima, perfil dos visitantes, diferenças entre as áreas de visitação, permanência dos visitantes, quantidade de pessoas, além de aspectos sociais e econômicos regionais, podem interferir nas análises de capacidade de carga e devem ser considerados no planejamento turístico de cada caverna estudada (Ferreira et al., 2019).

Especificamente para a capacidade de carga, foram analisados os seguintes estudos: um trabalho realizado para o PME do Vale do Ribeira no Brasil (Lobo et al., 2013), um estudo na Tailândia (Cheablam e Rattanarat, 2021), um no México (Enseñat-Soberanis et al., 2020) e um na Eslovênia (Šebela e Turk, 2014). Em geral, estudos de capacidade de carga estão relacionados ao levantamento de elementos bióticos e abióticos e requerem tempo para identificação de variáveis sazonais e alterações induzidas pela presença humana (Lobo et al., 2013).

Em diagnósticos ambientais, foram considerados trabalhos realizados no Brasil (CCI, EPIK, KDI) por Donato et al. (2014), Silva et al. (2015), Lenhare e Sallun Filho (2019) e Souza et al. (2021). Tanto EPIK quanto KDI avaliam principalmente questões externas ou internas quando relacionadas à hidrogeologia.

Teses acadêmicas e publicações técnicas e científicas

Por fim, foram também analisadas publicações técnicas, acadêmicas e científicas relacionadas ao inventário e aos mecanismos de qualificação de cavernas no Brasil. São trabalhos que utilizaram os métodos existentes ou adaptações para desenvolver seus estudos identificando e qualificando sítios. Algumas dessas publicações (Santos, 2019) também puderam ser analisadas como testes de aplicação de métodos existentes ou adaptações ao contexto brasileiro. Segundo Santos (2019), discrepâncias entre valores também ocorrem entre seu trabalho e outros inventários sobre os mesmos sítios, como o Inventário do Patrimônio Geológico do Estado de São Paulo (Garcia et al., 2018) e a Proposta de Geoparque do Alto Vale do Ribeira do Serviço Geológico do Brasil (Theodorovicz, 2014).

Além de Santos (2019), também foram considerados os trabalhos acadêmicos de Marra (2008) — este agrupado

com metodologias de qualificação — e de Ferreira (2014), que fez um levantamento dos trabalhos de inventários do patrimônio geológico brasileiro analisando alguns métodos e, ao fim, quantificando o patrimônio geológico do PETAR. Para qualificação dos sítios, o estudo adaptou a metodologia proposta por Pereira (2010) por considerá-la a mais completa e adaptada à realidade brasileira. Entre os sítios inventariados, foram destacadas 11 cavernas, qualificadas junto a outros sítios na região. A autora também chama a atenção para a subjetividade na avaliação de alguns critérios, entre eles, o valor estético e a relevância cultural. O trabalho destaca algumas discrepâncias em avaliações sobre um mesmo sítio. As Cavernas Couto, Morro Preto, Santana, Água Suja, Areias I e II, segundo análise utilizada na tese, receberam avaliações discrepantes de acordo com os diferentes métodos e avaliadores entre inventários anteriores e o Inventário do Patrimônio Geológico do Estado de São Paulo. Segundo a autora, essa discrepância se deve notadamente aos critérios representatividade (de peso 30% na avaliação) e raridade (peso 15%).

Como publicações técnicas, consideramos a Proposta de Geoparque, Alto Vale do Ribeira (Theodorovicz, 2014), a qual inventariou 19 sítios no PETAR, sendo a maior parte deles de interesse espeleológico (Ferreira et al., 2019), e o PME do PETAR, proposto pelo Serviço Geológico do Brasil (Theodorovicz, 2014). Até o presente momento, o PME é o mais completo estudo realizado na área nesse sentido, contendo diferentes índices avaliados, incluindo também monitoramento ambiental e dados sobre capacidade de carga.

Em 2013, a Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP, 2013) publicou uma proposta de Sítios do Patrimônio Geológico Nacional em sistemas cársticos. No estudo, cavernas são sugeridas como sítios espeleológicos do patrimônio geológico brasileiro. São destacadas várias províncias espeleológicas cujas justificativas são valores paisagísticos, científico, paleontológico, arqueológico, espeleométrico e raro exemplo geológico. As províncias cársticas e cavernas sugeridas foram: Carste do PETAR (SP) na justificativa principal de sistemas de cavernas com paisagens subterrâneas únicas (Karmann e Ferrari, 2000), Lagoa Santa (MG) na justificativa de ser o berço da paleontologia e da espeleologia do Brasil (Berbert-Born, 2000), Gruta do Centenário (MG) e Toca da Boa Vista (BA) com justificativas espeleométricas [a mais profunda caverna em quartzito do mundo e a maior caverna brasileira, respectivamente (Rubbioli et al., 2019)], cavernas do Vale do Rio Peruaçu (MG) com a justificativa paisagística, Grutas de Iraquara (BA) como sendo um dos principais sítios espeleológicos do Brasil, Lapa dos Brejões (BA) com justificativas espeleométricas, de volume subterrâneo e paleontológico (fósseis do quaternário), Caverna Aroe Jari (MT) como raro exemplo de caverna em quartzito e Poço Encantado (BA) pela sua importância paisagística e científica. Para a

qualificação, o SIGEP contou com a validação de um colegiado com representantes de diferentes entidades, o que tornou o processo mais burocrático, mas também mais preciso.

Outras avaliações realizadas sobre o patrimônio espeleológico brasileiro

O Instituto do Patrimônio Artístico e Histórico Nacional (Iphan) também realizou avaliações de cavernas, enquadrando-as como patrimônio natural e de tombamento. Como justificativas, o instituto atribuiu os valores paisagístico e cultural. As cavernas enquadradas nas avaliações foram o Lago Azul e Caverna Nossa Senhora Aparecida (MS) como valor paisagístico e Gruta da Mangabeira (BA) como valor cultural.

Com relevância internacional, Williams (2008) no estudo *World heritage caves and karst* menciona o Parque Nacional Cavernas do Peruaçu, com a Caverna do Janelão, como patrimônio natural de importância mundial e justifica sua sugestão pelo valor paisagístico, singularidade do cânion do Peruaçu, grandiosidade das formações cársticas e localização geográfica (ineditismo no hemisfério sul).

Embora esses métodos tenham inventariado e qualificado cavernas brasileiras, muitos deles são aplicados em um contexto de patrimônio geológico com diferentes tipos de sítios geológicos. Não foram, no entanto, desenvolvidos especificamente para o meio subterrâneo, e alguns não utilizam ferramentas objetivas para cálculo dos valores, estando mais sujeitos à subjetividade ou a avaliações que não consideram as especificidades da espeleologia e suas diferentes características.

A Tabela 2 mostra a análise quantitativa comparando os principais inventários e mecanismos de qualificação de cavernas. Os estudos estão identificados por características em comum conforme agrupamento proposto nesta publicação. Essa tabela coloca os estudos em uma ordem adequada para o uso pedagógico e de divulgação científica (*Total Index* — TI) calculado de acordo com valores atribuídos às respostas encontradas para cada estudo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises realizadas sobre o conjunto de mecanismos apresentadas neste estudo indicam que os trabalhos assumem diferentes características de acordo com o objetivo a que se propõem. Como nenhum dos estudos disponíveis foi desenvolvido tendo como base demandas das áreas específicas de educação e divulgação científica, foi observada grande carência de informações de fácil acesso e com boa cobertura para fundamentar estratégias e conteúdos pedagógicos. Em se tratando de educação baseada no lugar, entende-se que a disponibilidade de uma boa cobertura regional de dados e, se possível, com a participação das comunidades locais

na obtenção desses resultados, seria de grande importância. Contudo essas características não foram encontradas em nenhum dos estudos analisados.

Os valores do TI mostrados na Tabela 2 sugerem que, no Brasil, o PME é atualmente o estudo mais adequado como fonte de apoio para grupos de pesquisa e professores com projetos relacionados ao uso das cavernas para o ensino das diferentes áreas do conhecimento associadas ao tema. Contudo os planos de manejo ainda são estudos limitados somente a algumas regiões e com grande dependência de especialistas e acadêmicos (verificável nas colunas cobertura espacial e alta dependência de especialistas).

As ferramentas mais completas em termos de bancos de dados geográficos e descrição de cavernas no Brasil (CNC e CANIE) funcionam mais como cadastros para inclusão, atualização e consulta de cavidades existentes do que para análises quantitativas sobre valores e caracterização. Não permitem, no entanto, a extração de dados para *rankings*, escolhas ou mesmo comparações entre cavernas. Embora sejam simples e independam de conhecimentos científicos, enfrentam dificuldades de gestão e atualização. Esses dados poderiam ser usados para consultas rápidas por professores para obtenção de dados sobre as cavernas.

Já as ferramentas que contemplam critérios de qualificação encontram-se em estudos científicos, acadêmicos ou são pontuais. Foram observadas, entre os mecanismos de qualificação, divergências relacionadas à subjetividade quando aplicados para o meio subterrâneo (GEOSSIT, Inventário do Patrimônio Geológico), o que também dificulta a compreensão dos professores e consultas pelos estudantes, uma vez que têm divulgação limitada no meio acadêmico.

A ferramenta mais próxima da necessidade de se obter um panorama comparativo é o GEOSSIT, mesmo assim ainda não apresenta dados quantitativos validados que representem o patrimônio espeleológico brasileiro ou de alguma região específica.

Mesmo outras ferramentas avaliadas, como KDI, EPIK, CSI ou CDI, têm restrições para o uso de divulgação científica ou educação por dependerem de especialistas ou terem foco na avaliação de degradação ou vulnerabilidade das áreas cársticas.

A análise comparativa dos estudos indica que, para se construir estratégias pedagógicas e materiais didáticos adequados envolvendo os conhecimentos acessíveis sobre o patrimônio espeleológico brasileiro, o melhor caminho tende a ser a combinação entre diferentes recursos, não tendo sido encontrada uma única ferramenta que permita a obtenção de dados completos e comparativos com informações demandadas pelo projeto educativo em desenvolvimento.

Se a proposta de inventariar cavernas já é um desafio, encontrar informações estruturadas para o uso de cavidades naturais para fins educativos é ainda mais

complicado. Isso porque as cavernas dispõem de inúmeros pontos de vista avaliativos e interdisciplinares, motivo que pode também ajudar a explicar o cenário de não atualização dos atuais cadastros e diferenças de abordagem em cada estudo.

Observou-se, ainda, um conjunto de características necessárias para que a ferramenta tenha maior acolhimento para uso pedagógico e aplicação regional ou nacional: ela precisa ser de simples aplicação, não depender exclusivamente de estudos acadêmicos e abordar diferentes atributos que possam ser agrupados em valores ou analisados separadamente. Isso possibilitaria comparar cavidades ou agrupamentos regionais, prever a subjetividade dos avaliadores e ter um baixo custo de aplicação.

Conclui-se pela necessidade de continuidade desta pesquisa propondo um novo mecanismo avaliativo para inventário e qualificação de cavernas para uso educativo e de divulgação científica. Um método que contemple as características levantadas e busque responder de maneira clara e objetiva as demandas da educação básica, possibilitando a inserção do item de forma interdisciplinar.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de doutorado, a Mylène Luíza Cunha Berbert Born, do Serviço Geológico Brasileiro, e aos revisores anônimos da revista, pelas ricas contribuições ao artigo.

REFERÊNCIAS

Berbert-Born, M. (2000). Carste de Lagoa Santa. In: C. Schobbenhaus, D. A. Campos, E. T. Queiroz, M. Winge, M. Berbert-Born (Eds.). *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. Disponível em: <http://sigep.cprm.gov.br/sitio015/sitio015.htm>. Acesso em: 12 mai. 2022.

Brasil (2004). Ministério do Meio Ambiente. *Resolução CONAMA n° 347, de 10 de setembro de 2004*. Dispõe sobre a proteção do patrimônio espeleológico. Brasil: Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cecav/images/stories/downloads/Legislacao/Res_CONAMA_347_2004.pdf. Acesso em: 12 maio 2022.

Brasil (2008). Presidência da República. Casa Civil. *Decreto n° 6.640, de 7 de novembro de 2008*. Dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional. Brasília. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/decreto/d6640.htm. Acesso em: 12 maio 2022.

- Brasil (2009). Ministério do Meio Ambiente. *Instrução Normativa nº 2, de 20 de agosto de 2009*. Dispõe sobre o estabelecimento de metodologia para a classificação de relevância das cavidades naturais subterrâneas. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cecav/images/download/IN%2002_MMA_criterios_210809.pdf. Acesso em: 12 maio 2022.
- Brasil (2017). Ministério do Meio Ambiente. Ibama. *Instrução Normativa nº 02, de 30 de agosto de 2017*. Define a metodologia para a classificação do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas, conforme previsto no art. 5º do Decreto nº 99.556, de 1º de outubro de 1990. Brasil: Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&force=1&legislacao=137302>. Acesso em: 12 maio 2022.
- Brasil (2018). Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília: Ministério da Educação. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518-versaofinal_site.pdf. Acesso em: 8 maio 2022.
- Brilha, J. (2016). Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: a review. *Geoheritage*, 8(2), 119-134. <https://doi.org/10.1007/s12371-014-0139-3>
- CECAV – Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas. (2021). *Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas – CANIE*. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/cecav/canie.html>. Acesso em: 8 abr. 2022.
- Cheablam, O., Rattanarat, J. (2021). Physical and ecological carrying capacity for cave tourism management. *Journal of Environmental Management and Tourism*, 12(4), 986-999. [https://doi.org/10.14505/jemt.v12.4\(52\).13](https://doi.org/10.14505/jemt.v12.4(52).13)
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil (2020). *Sistema de Cadastro e Quantificação de Geossítios e Sítios da Geodiversidade – GEOSSIT*. Disponível em: <https://www.cprm.gov.br/geossit/>. Acesso em: 26 maio 2020.
- Donato, C. R., Ribeiro, A. S., Souto, L. S. (2014). A conservation status index, as an auxiliary tool for the management of cave environments. *International Journal of Speleology*, 43(3), 315-322. Disponível em: https://digitalcommons.usf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2199&context=kip_articles. Acesso em: 8 abr. 2022.
- Dos Santos, D. J. (2013). *Avaliação da vulnerabilidade ambiental das áreas cársticas da região entre os municípios de Lagoa Santa e Monjolos MG*. Monografia (Especialização em Geoprocessamento). Belo Horizonte: Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/IGCM-9GGQ7X/1/monografia_20_janeiro14_com_ficha.pdf. Acesso em: 8 abr. 2022.
- Duchene, H. R. (2006). Resource inventory: a tool for cave science, management, and restoration. Cave conservation and restoration. Huntsville: National Speleological Society, p. 19-32. Disponível em: <https://digital.lib.usf.edu/content/SF/SO/05/10/33/00001/K26-00584-19-32.pdf>. Acesso em: 8 abr. 2022.
- Enseñat-Soberanis, F., Blanco-Gregory, R., Mondragón-Mejía, J., Simões, N., Moreno-Acevedo, E., Ortega, I. (2020). Crowding standards and willingness to pay at cenotes (sinkholes) of the Yucatan Peninsula: a comparative analysis of local, national and international visitors. *Journal of Ecotourism*, 19(1), 1-22. <https://doi.org/10.1080/14724049.2019.1619747>
- Ferreira, A. R. R. (2014). *Patrimônio geológico no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira-SP: inventariação e quantificação de geossítios*. Dissertação (Mestrado). Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP). Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/124375>. Acesso em: 10 out. 2021.
- Ferreira, A. R. R., Lobo, H. A. S., Perinotto, J. A. J. (2019). Inventory and quantification of geosites in the state tourist park of Alto Ribeira (PETAR, São Paulo state, Brazil). *Geoheritage*, 11(3), 783-792. <https://doi.org/10.1007/s12371-018-0331-y>
- Garcia, M. G. M., Brilha, J., Lima, F. F., Vargas, J. C., Pérez-Aguilar, A., Alves, A., Campanha, G. A. C., Duleba, W., Faleiros, F. M., Fernandes, L. A., Fierz, M. S. M., Garcia, M. J., Janasi, V. A., Martins, L., Raposo, M. I. B., Ricardi-Branco, F., Ross, J. L. S., Sallum Filho, W., Souza, C. R. G., Bernardes-de-Oliveira, M. E. C., Brito Neves, B. B., Campos Neto, M. C., Christofoletti, S. R., Henrique-Pinto, R., Lobo, H. A. S., Machado, R., Passarelli, C. R., Perinotto, J. A. J., Ribeiro, R. R., Shimada, H. (2018). The inventory of geological heritage of the State of São Paulo, Brazil: methodological basis, results and perspectives. *Geoheritage*, 10(2), 239-258. <http://doi.org/10.1007/s12371-016-0215-y>
- Garcia-Cortés, A., Urquí, L. C. (2009). *Documento metodológico para la elaboración del inventario español de lugares de*

- interés geológico* (IELIG). Madri: Instituto Geológico y Minero de España. Disponível em: <https://xdoc.mx/preview/ielig-igme-5e1b7fb7584a7>. Acesso em: 10 out. 2022.
- Gomes, M., Jansen, D. C., Santos, D. J., Cavalcanti, L. F. (2014). Análise preliminar dos Mapas de Vulnerabilidade do Patrimônio Espeleológico para as áreas cársticas prioritárias da região de abrangência do PAN cavernas do São Francisco. *Revista Brasileira de Espeleologia*, 1(4), 10-51. Disponível em: <https://revistaelectronica.icmbio.gov.br/RBEsp/article/view/421>. Acesso em: 10 out. 2022.
- González-Guerrero, G., Olivares Robles, A. K., Valdez Pérez, M. E., Morales Ibarra, R., Castañeda Martínez, T. (2016). The application of the tourist carrying capacity technique and its critical analysis for tourism planning. *Tourism Planning & Development*, 13(1), 72-87. <https://doi.org/10.1080/21568316.2015.1076512>
- Gray, M. (2004). *Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature*. Chichester/Londres: John Wiley & Sons, 434 p.
- Gray, M. (2013). *Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature*. 2ª ed. Chichester: Wiley-Blackwell, 495 p.
- Harley, G. L., Polk, J. S., North, L. A., Reeder, P. P. (2011). Application of a cave inventory system to stimulate development of management strategies: The case of west-central Florida, USA. *Journal of Environmental Management*, 92(10), 2547-2557. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.05.020>
- Jansen, D. C., Gomes, M., Santos, D. J., Cavalcanti, L. F. (2014). Mapa de vulnerabilidade natural do patrimônio espeleológico da região de abrangência do PAN Cavernas do São Francisco. *Revista Brasileira de Espeleologia*, 1(4), 63-77. Disponível em: <https://revistaelectronica.icmbio.gov.br/RBEsp/article/view/428>. Acesso em: 10 out. 2022.
- Karmann, I., Ferrari, J. A. (2000). Carste e cavernas do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR), sul do Estado de São Paulo. In: C. Schobbenhaus, D. A. Campos, E. T. Queiroz, M. Winge, M. Berbert-Born (Eds.). *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. Disponível em: <http://sigep.cprm.gov.br/sitio043/sitio043.pdf>. Acesso em: 10 out. 2020.
- Lenhare, B. D., Sallun Filho, W. (2019). Application of EPIK and KDI methods for identification and evaluation of karst vulnerability at Intervalles State Park and surrounding region (Southeastern Brazil). *Carbonates and Evaporites*, 34(1), 175-187. <https://doi.org/10.1007/s13146-018-0474-6>
- Lobo, H. A. S. (2015). Tourist carrying capacity of Santana cave (PETAR-SP, Brazil): a new method based on a critical atmospheric parameter. *Tourism Management Perspectives*, 16, 67-75. <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2015.07.001>
- Lobo, H. A. S., Boggiani, P. C. (2013). Cavernas como patrimônio geológico. *Boletim Paranaense de Geociências*, 70, 190-199. <https://doi.org/10.5380/geo.v70i0.31698>
- Lobo, H. A. S., Trajano, E., de Alcântara Marinho, M., Bichuette, M. E., Scaleante, J. A. B., Scaleante, O. A. F., Laterza, F. V. (2013). Projection of tourist scenarios onto fragility maps: Framework for determination of provisional tourist carrying capacity in a Brazilian show cave. *Tourism Management*, 35, 234-243. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2012.07.008>
- Lüdke, M., André, M. E. D. A. (2013). *Pesquisa em educação: abordagens qualitativas*. 2ª ed. São Paulo: EPU, 128 p.
- Marra, R. J. C. (2008). *Critérios de relevância para classificação de cavernas no Brasil*. Tese (Doutorado). Brasília: Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/1890/1/2008_RicardoJoseCalembMarra.pdf. Acesso em: 8 abr. 2022.
- Menin, D. S. D. (2021). Cavernas, educação e comunicação científica: uma proposta metodológica. *Boletim Eletrônico da Sociedade Brasileira de Espeleologia*, 425, 36-39. Disponível em: https://www.cavernas.org.br/wp-content/uploads/2021/02/SBE_Noticias_425.pdf. Acesso em: 22 mar. 2022.
- Menin, D. S. D., Tognetta, L. R. P., Bacci, D. L. C. (2022). As cavernas como tema interdisciplinar no ensino fundamental. *Revista Brasileira de Educação Ambiental*, 17(3), 72-91. <https://doi.org/10.34024/revbea.2022.v17.13432>
- Nossa, T. C. B. (2011). *Avaliação da vulnerabilidade do aquífero cárstico Salitre, Bahia, através de análises hidroquímicas, isotópicas e aplicação da metodologia COP*. Tese (Doutorado). Salvador: Universidade Federal da Bahia. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/21489>. Acesso em: 6 abr. 2022.
- Pereira, D. I., Pereira, P., Brilha, J., Santos, L. (2013). Geodiversity assessment of Parana State (Brazil): an innovative approach. *Environmental Management*, 52, 541-552. <https://doi.org/10.1007/s00267-013-0100-2>

- Pereira, R. F. G. A. (2010). *Geoconservação e desenvolvimento sustentável na Chapada Diamantina (Bahia-Brasil)*. Tese (Doutorado). Braga: Escola de Ciências, Universidade do Minho, 318 p. Disponível em: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/10879>. Acesso em: 2 set. 2021.
- Rubbioli, E., Auler, A., Menin, D. S. D., Brandi, R. (2019). *Cavernas: atlas do Brasil subterrâneo*. Brasília: ICMBio, 340 p.
- Santos, P. L. A. (2019). *Patrimônio geológico na área do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR), Vale do Ribeira, SP – Brasil: a capacidade de carga na definição de estratégias de gestão para o uso público de sítios geológicos*. Tese (Doutorado). Braga: Escola de Ciências, Universidade do Minho, 268 p. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/337680732_Patrimonio_Geologico_na_area_do_Parque_Estadual_Turistico_do_Alto_Ribeira_PETAR_Vale_do_Ribeira_SP_-_Brasil_a_capacidade_de_carga_na_definicao_de_estrategias_de_gestao_para_o_uso_publico_de_sitios_geo. Acesso em: 2 set. 2021.
- Santos, R. A., Cruz, M. J. M., Nascimento, S. A. (2010). Avaliação da vulnerabilidade natural de aquíferos cársticos: subsídios para uma gestão dos recursos hídricos subterrâneos (Texto Didático). *Cadernos de Geociências*, 7(1), 54-62. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/cadgeoc/article/view/4096>. Acesso em: 6 abr. 2022.
- SBE – Sociedade Brasileira de Espeleologia (2013). *Cadastro nacional de cavernas do Brasil (CNC)*. Campinas: SBE. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br>. Acesso em: 2 abr. 2020.
- SBE – Sociedade Brasileira de Espeleologia (2020). *Posicionamento da Sociedade Brasileira de Espeleologia diante da minuta de alteração dos decretos federais no 99.556/1990 e 6.640/2008, proposta pelo Ministério de Minas e Energia, de 14 de abril de 2020*. Campinas: SBE. Disponível em: https://bambuiespeleo.files.wordpress.com/2020/04/sbe_2020_posicionamento-minuta-decreto_ass.pdf. Acesso em: 12 maio 2022.
- Šebela, S., Turk, J. (2014). Sustainable use of the Predjama Cave (Slovenia) and possible scenarios related to anticipated major increases in tourist numbers. *Tourism Management Perspectives*, 10, 37-45. <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2014.01.002>
- Semken, S., Ward, E. G., Moosavi, S., Chinn, P. W. U. (2017). Place-based education in geoscience: theory, research, practice, and assessment. *Journal of Geoscience Education*, 65, 542-562. Disponível em: <https://eric.ed.gov/?id=EJ1161333>. Acesso em: 6 abr. 2022.
- Serrano, E. C., Ruiz-Flaño, P. (2007). Geodiversity: a theoretical and applied concept. *Geographia Helvetica*, 62(3), 140-147. <https://doi.org/10.5194/gh-62-140-2007>
- SIGEP – Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos. (2013). *Sítios publicados*. Disponível em: <http://sigep.cprm.gov.br/sitios.htm>. Acesso em: 1º mar. 2021.
- Silva, M. S., Martins, R. P., Ferreira, R. L. (2015). Cave conservation priority index to adopt a rapid protection strategy: a case study in Brazilian Atlantic rain forest. *Environmental Management*, 55(2), 279-295. <https://doi.org/10.1007/s00267-014-0414-8>
- Souza, H. A. (Coord.). (1998). *Mapa de Zoneamento Espeleológico da APA Carste de Lagoa Santa*. Projeto Zoneamento Ambiental da APA Carste de Lagoa Santa. Belo Horizonte: CPRM, Serviço Geológico do Brasil, DEGET, Departamento de Gestão Territorial. Disponível em: http://cprm.gov.br/publique/media/gestao_territorial/apacarste/Zoneamento_Espeleologico.pdf. Acesso em: 8 abr. 2022.
- Souza, M. F., Alvarenga, D. A., Souza-Silva, M., Ferreira, R. L. (2021). Do different relevance attributes indicate the same conservation priorities? A case study in caves of southeastern Brazil. *International Journal of Speleology*, 50(3), 223-238. <https://doi.org/10.5038/1827-806X.50.3.2350>
- Stewart, I. S., Nield, T. (2013). Earth stories: context and narrative in the communication of popular geoscience. *Proceedings of the Geologists' Association*, 124(4), 699-712. <https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2012.08.008>
- Theodorovicz, A. (2014). *Geoparque Alto Vale do Ribeira: proposta. Preservação do Patrimônio Geológico. Visibilidade e Desenvolvimento através do Geoturismo*. Relatório Interno. CPRM. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/15063>. Acesso em: 20 set. 2020.
- Wagar, J. A. (1964). The carrying capacity of wild lands for recreation. *Forest Science*, 10(Supl. 2), a0001-24. <https://doi.org/10.1093/forestscience/10.s2.a0001>
- Williams, P. (2008). *World heritage caves and karst*. Gland: IUCN, 57 p. Disponível em: <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2008-037.pdf>. Acesso em: 7 out. 2021.
- Woo, K. S., Kim, L. (2018). Geoheritage evaluation of caves in Korea: a case study of limestone caves. In: *Geoheritage: assessment, protection, and management*. Switzerland: Elsevier, p. 373-386. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809531-7.00021-6>
- WTO – World Tourism Organization (1992). *Guidelines: development of national parks and protected area for tourism. Tourism and the Environment*. UNEP-IE/PAC Technical Report. Series nº 13. Madri: WTO. Disponível em: <https://www.e-unwto.org/doi/book/10.18111/9789284400263>. Acesso em: 7 out. 2021.